

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Специальность: **14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и  
инжиниринг**

НОЦ И.Н.Бутакова

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Установка для исследования тепловыделяющей сборки с холостым ходом теплоносителя</b>

УДК 621.039.534

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5042	Нгуен Дьинь Ван		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Раков Ю. Я.	к.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	В.А. Маланина	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	А.Г. Дашковский	к.т.н., доцент		

По разделу «Автоматизация технологических процессов и производств»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	М.Д.Кац	к.ф.-м.н., доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	М.А.Вагнер	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»	Воробьев А.В.	к.т.н., доцент		

Томск – 2020 г.

## Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<b>Универсальные компетенции</b>
P1	Использовать методологические основы современной картины мира для научного познания и творчества, выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в профессиональной деятельности
P2	Анализировать социально-значимые процессы и явления, экономические проблемы и общественные процессы, ответственно участвовать в общественно-политической жизни, применять методы социального взаимодействия на основе принятых моральных и правовых норм
P3	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и публично защищать результаты, владеть методами пропаганды научных достижений
P4	Использовать системный подход в профессиональной деятельности, ставить цели и выбирать пути их достижения, обобщать, анализировать, критически осмысливать, систематизировать
P5	Осознавать необходимость и демонстрировать способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни, непрерывному самосовершенствованию, развитию социальных и профессиональных компетенций, использовать полученные знания для обучения и воспитания новых кадров
P6	К достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности и должного уровня безопасности жизнедеятельности, в том числе, защиты персонала и населения от последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
P7	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе, многонациональном, принимать ответственность за свои решения, в том числе, нестандартные, управлять коллективом, находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях
P8	Использовать информационные технологии для работы с информацией, управления ею и создания новой информации; работать с информацией в глобальных компьютерных сетях, осознавать и соблюдать основные требования информационной безопасности

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<b>Профессиональные компетенции</b>
P9	Понимать значимость своей специальности, стремиться к ответственному отношению к своей трудовой деятельности, демонстрировать особые компетенции, связанные с уникальностью задач, объектов в области проектирования и эксплуатации АС
P10	Использовать глубокие математические, естественнонаучные знания в профессиональной деятельности с применением математического моделирования объектов и процессов в области проектирования и эксплуатации АС
P11	Проводить <i>инновационные</i> научные исследования систем и оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, участвовать во внедрении результатов исследований
P12	Анализировать и использовать научно-техническую информацию, формулировать цели проекта, ставить и решать инновационные задачи <i>комплексного</i> инженерного анализа в области проектирования и эксплуатации АС
P13	Выбирать, создавать и использовать оборудование атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, средства измерения теплофизических параметров и автоматизированного управления, защиты и контроля технологических процессов
P14	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок систем и оборудования АС и ядерных энергетических установок, готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений, выполнять <i>инновационные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и</i> специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов с учетом принципов и средств обеспечения ядерной и радиационной безопасности
P15	Разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы в области проектирования АС
P16	Анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, диагностики, управления и защиты, проводить нейтронно-физические, теплогидравлические и прочностные расчеты оборудования АС и его элементов в стационарных и нестационарных режимах работы

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P17	Делать оценку ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации ядерных энергетических установок, а также при обращении с ядерным топливом и другими отходами
P18	Применять основы обеспечения оптимальных режимов работы ядерного реактора, тепломеханического оборудования и энергоблока АС в целом при пуске, останове, работе на мощности и переходе с одного уровня мощности на другой с соблюдением требований безопасности, выполнять типовые операции по управлению реактором и энергоблоком на функционально-аналитическом тренажере
P19	Анализировать технологии монтажа, ремонта и демонтажа оборудования АС применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АС
P20	Осуществлять и анализировать технологическую деятельность как объект управления, организовывать рабочие места, обеспечивать их техническое оснащение, размещать технологическое оборудование, контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживать технологическое оборудование, исследовать причины его неисправностей, принимать меры по их устранению
P21	Составлять техническую документацию и организовывать экспертизу технической документации, составлять установленную отчетность по утвержденным формам, управлять малыми коллективами исполнителей, планировать работу персонала и фонды оплаты труда
P22	Выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов ядерных энергетических установок, проводить анализ производственных затрат на обеспечение необходимого качества продукции
P23	Составлять и использовать тепловые схемы и математические модели процессов и аппаратов ядерно-энергетических и тепломеханических установок различных типов АС, готовить исходные данные для расчета тепловых схем
P24	Проводить физические эксперименты на этапах физического и энергетического пуска энергоблока с целью определения нейтронно-физических параметров реакторной установки и АС в целом
P25	Применять на практике принципы организации эксплуатации современного оборудования и приборов АС, понимать принципиальные особенности стационарных и переходных режимов реакторных установок и энергоблоков и причины накладываемых ограничений при нормальной эксплуатации, при её нарушениях, при ремонте и перегрузках

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

А.В. Воробьев

(Подпись)

(Дата)

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

**ДИПЛОМНОЙ РАБОТЫ**

Студенту:

Группа	ФИО
5042	Нгуен Дъинь Ван

Тема работы:

<b>Установка для исследования тепловыделяющей сборки с холостым ходом теплоносителя</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	09.01.2020 №9-46/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	09.01.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы производственной практики, публикаций, учебная и научно-техническая литература. Теплоноситель: вода. Тип теплообменника: трубка Фильда.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Обзор литературы 2. Математическая модель ТВС с холостым ходом теплоносителя 2.1. Теплоноситель сначала омывает ТВЭЛ и выходит из канала холостым ходом. 2.2. Схема на рис. 6,б теплоноситель входит в холостой канал и затем омывает ТВС 3. Описание принципиальной схемы экспериментальной установки 4. Описание экспериментальной установки

	5. Компоновка лабораторного стенда 6. Методика проведения опытов 7. Обработка результатов 8. Автоматизация производственных процессов 8.1 Описание системы контроля температуры, расхода и давления теплообменного аппарата 8.2 Выбор технических средств для реализации систем контроля 8.3 Проектирование функциональной схемы 9. Финансовый менеджмент 9.1 Планирование работ 9.2 Расчет бюджета затрат на реализацию проекта и проектирование 9.3 Оценка потенциала проекта 10. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ 10.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды 10.2 Освещение рабочего места 10.3 Микроклимат 10.4 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды 10.5 Приложение 1 10.6 Расчет шума
--	---

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Сборочный чертеж теплообменного аппарата; 2. Компонировочный чертеж лабораторной установки 3. Функциональная схема экспериментальной установки 4. Деталировочные чертежи основных элементов.
---	--

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
--	--

Раздел	Консультант
<b>Финансовый менеджмент</b>	В.А. Маланина, доцент ОСГН ШБИП
<b>Социальная ответственность</b>	А.Г. Дашковский, доцент ООД ШБИП
<b>Автоматизация технологических процессов</b>	И.П. Озерова, доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ

<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	<b>26 июня 2019</b>
---	---------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Раков Ю. Я.	к.т.н., доцент		26.06.19

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5042	Нгуен Дьинь Ван		26.06.19

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5042	Нгуен Дъинь Ван

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

**Тема дипломной работы: «Установка для исследования тепловыделяющей сборки с холостым ходом теплоносителя»**

#### **Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад доцента, к. т. н. – 26300 руб./мес. Оклад ассистента – 17000 руб./мес. Каталоги заводов-изготовителей
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизации 50% Районный коэффициент 1,3
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на социальные нужды 30 %

#### **Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)
2. Формирование плана разработки и внедрения ИР
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР
4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков

#### **Перечень графического материала:**

1. Матрица SWOT-анализа
2. Смета итоговых расходов

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	<b>15 октября 2019</b>
---	------------------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	В.А. Маланина	к.э.н., доцент		15.10.19

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5042	Нгуен Дъинь Ван		15.10.19

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5042	Нгуен Дьинь Ван

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение</b>	НОЦ И. Н. Бутакова
<b>Уровень образования</b>	Специалист	<b>Направление/ специальность</b>	Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Описание рабочего места	Помещения турбинного и реакторного отделений.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” от 28.12.2013 г. №123</li> <li>– Федеральный закон “О специальной оценке условий труда” от 28.12.2013 г. №426</li> </ul>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	Рассмотрение следующих вредных факторов: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ионизирующее излучение,</li> <li>– Организация рациональных условий жизнедеятельности</li> <li>– Вибрация и шум</li> </ul>
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	– Пожаробезопасность.
3. Охрана окружающей среды	– Выбросы радиоактивных веществ в окружающую среду.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	– Пожар в турбинном и реакторном отделений.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Организационные вопросы безопасности труда.</li> <li>– Социальное страхование работников</li> </ul>
<b>Перечень графического материала:</b>	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	15 октября 2019
---	-----------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	А.Г. Дашковский	к.т.н., доцент		15.10.19

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5042	Нгуен Дьинь Ван		



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из: 88 с., 17 рисунков, 16 таблиц, 27 источника.

Ключевые слова: теплообменник, труба Фильда, коэффициент теплоотдачи, коэффициент теплопередачи, критерий подобия Нуссельта.

Объектом разработки является: экспериментальная установка для исследования теплообмена в трубе Фильда.

Цель работы – проектирование и последующая сборка теплообменника типа труба Фильда для исследования коэффициента теплоотдачи, коэффициента теплопередачи и эмпирического вывода критерия подобия Нуссельта.

В ходе проделанной работы спроектирована экспериментальная установка для исследования параметров трубы Фильда, вычислена стоимость ее проектирования и сборки, рассмотрены вопросы обеспечения производственной, пожарной и электробезопасности при проведении экспериментов на данной установке.

Возможно использование экспериментальной установки в качестве лабораторного стенда в образовательных целях.

В перспективе предусматривается совершенствование методов исследования процессов теплообмена путем внесения изменений в конструкцию.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

Список сокращений

ТО – теплообменник

ТН – теплоноситель

ТЭНП – трубчатый электронагреватель патронного типа

ТВС – тепловыделяющая сборка

ГУ – граничные условия

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	15
1. Обзор литературы .....	17
2. Математическая модель ТВС с холостым ходом теплоносителя .....	27
2.1. Теплоноситель сначала омывает ТВЭЛ и выходит из канала холостым ходом (рис.6,а) .....	29
2.2. Схема на рис.6,б теплоноситель входит в холостой канал и затем омывает ТВС .....	35
3. Описание принципиальной схемы экспериментальной установки .....	39
4. Описание экспериментальной установки .....	41
5. Компоновка лабораторного стенда .....	43
6. Методика проведения опытов .....	45
7. Обработка результатов .....	47
8. Автоматизация производственных процессов .....	49
8.1 Описание системы контроля температуры, расхода и давления теплообменного аппарата .....	49
8.2 Выбор технических средств для реализации систем контроля .....	50
8.2.1. Средства измерения .....	50
8.2.2. Средства измерения расхода .....	51
8.2.3. Средства измерения температуры .....	52
8.3 Проектирование функциональной схемы .....	54
9. Финансовый менеджмент .....	55
9.1 Планирование работ .....	55

9.2 Расчет бюджета затрат на реализацию проекта и проектирование .....	57
9.2.1 Смета на комплектующие для экспериментальной установки и необходимые материалы .....	57
9.2.2 Затраты на заработную плату .....	58
9.2.3 Затраты на социальные отчисления .....	59
9.2.4 Амортизация оборудования .....	59
9.2.5 Итоговая стоимость проекта экспериментальной установки .....	60
9.3 Оценка потенциала проекта .....	61
10. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	65
10.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды .....	65
10.1.1 Влияние шума на организм человека .....	65
10.1.2 Влияние вибрации на организм человека .....	66
10.2 Освещение рабочего места .....	68
10.3 Микроклимат .....	70
10.4 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды .....	73
10.4.1 Опасности механического характера .....	73
10.4.2 Электрическая безопасность .....	74
10.4.3 Охрана окружающей среды .....	77
10.4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ..	77
10.4.5 Социальное страхование .....	81
10.4.6 Эвакуация при пожаре или ЧС .....	83
Приложение А .....	84
Приложение Б .....	87

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		12

Закключение ..... 89

Список используемых источников ..... 90

**Графический материал:**

ФЮРА.XXXXXXX.002 СБ. Лабораторная установка. Сборочный чертеж.

ФЮРА.XXXXXXX.003 МЧ. Компоновочный чертеж проектируемого лабораторного стенда.

ФЮРА.421000.004 С2. Функциональная схема экспериментальной установки

ФЮРА.XXXXXXX.005 СБ. Детализованные чертежи основных элементов.

					ФЮРА.XXXXXXX.001.ПЗ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

## ВВЕДЕНИЕ

Современные АЭС невозможно представить без применения теплообменного оборудования различных типов. Однако теплообменники типа трубки Фильда не нашли широкого распространения на АЭС, но заняли свою нишу и в других отраслях: химическая промышленность, нефтегазовое дело и др.

Огромное количество теплоты, например, в современных стекловаренных установках, теряется с нагретыми дымовыми газами и через наружные ограждения. Эта цифра составляет около 60% от всего тепла, что весьма весомо. В результате этого различные промышленности повышают энергетическую эффективность производства. По результатам математического моделирования [13,14] решено применять, в нашем случае, трубы Фильда, вместо гладких прямых труб, что повышает компактность и эффективность аппарата.

Задача подготовки высококвалифицированных кадров, обладающих современными знаниями, практическими навыками, является одной из важнейших целей на сегодняшний день. Поэтому сейчас, как никогда остро, возникает необходимость приложения максимальных усилий для совершенствования содержания обучения, средств и методов подготовки специалистов.

В данной дипломная работа необходимо спроектировать и сконструировать лабораторную установку, позволяющие проводить различные опыты и исследовать параметры теплообменного аппарата типа труба Фильда. Непосредственная работа и взаимодействие с лабораторным стендом позволяет студентам более наглядно и доступно понимать материал и тематику данного вопроса, что является большим плюсом, нежели бы они работали с ЭВМ. Недостатком лабораторного стенда может являться повышенная опасность, которая создается составными компонентами установки. Следовательно, для вопроса по технике безопасности необходимо уделить больше времени.

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Основной сложностью данного проекта является снятие информации с теплообменного аппарата и расчет различных коэффициентов, например, коэффициент теплоотдачи и теплопередачи.



## 1. Обзор литературы

Для некоторых типов ядерных реакторов может оказаться целесообразным выполнение технологического канала в виде двух труб, вставленных одна в другую с кольцевым зазором. Внешняя труба тупиковая. Теплоноситель поступает в кольцевой зазор между внешней и внутренней трубами и затем по внутренней обратной трубе, в которой размещены тепловыделяющие элементы, возвращается в головку технологического канала. Таким образом, теплоноситель делает два хода в технологическом канале. Первый, опускной, ход увеличивает сопротивление технологического канала и повышает количество теплоносителя в активной зоне. Это - недостатки конструкции такого канала. Влияние этих недостатков становится минимальным при использовании в качестве теплоносителя жидкости с большой теплоемкостью и малым сечением захвата тепловых нейтронов. Наилучшим образом этим требованиям удовлетворяет тяжелая вода, в меньшей – дифенильная смесь и газы. Технологический канал такой конструкции называется трубкой Фильда. Плюсами и удобствами таких технологических каналов являются, во-первых, возможность легко отсоединить канал от общей циркуляции реактора, во-вторых, то, что все обслуживание реактора производится сверху, вследствие чего конструкция нижней части реактора сильно упрощается [6].

Трубки Фильда применялись на АЭС с реактором БН-350 в г. Шевченко, в корпусных парогенераторах с естественной циркуляцией, состоящих из двух пароперегревательных и испарительных частей (рис. 1). Сами трубы Фильда расположены в испарителе, представляющим собой вертикальный цилиндрический сосуд, и закреплены в трубной доске. Парогенераторы с трубками Фильда с естественной циркуляцией выполняли основное условие – минимальные затраты металла на сооружение парогенератора, при этом вопрос надежности не был учтен и парогенераторы блока БН - 350 длительное время находились в аварийном состоянии, поскольку

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

U-образная конструкция полевых трубок способствовала образованию отложений оксидов железа в нижних секциях трубы, заключение которых было затруднено из-за конструктивных особенностей установки. Эти отложения нежелательны, особенно при повышенных тепловых нагрузках, для жидкометаллического теплоносителя.

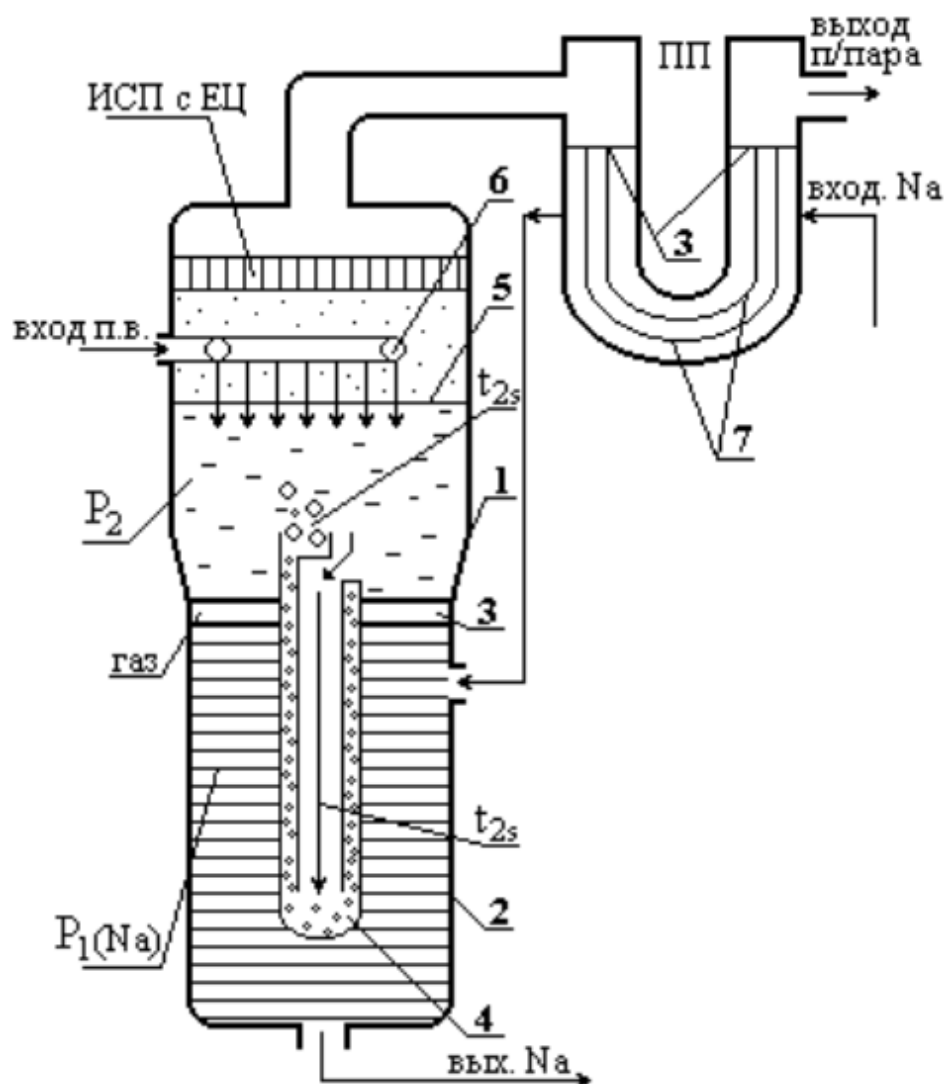


Рисунок 1 – Схема парогенератора реактора БН-350 [1]

1 – верхний корпус ( $P_2$ ); 2 – нижний корпус ( $Na$ ); 3 – трубная доска; 4 – парогенирующий элемент с трубками Фильда; 5 – уровень зеркала испарения; 6 – кольцевой коллектор раздачи; 7 – U - образные трубки.

Основными достоинствами трубки Фильда в качестве теплообменного аппарата являются: исключение термических напряжений, причиной которых служит тепловое расширение трубного пучка, металлоемкость,

компактность и эффективность в сравнении с гладкими прямыми трубами.

Трубки Фильда нашли широкое распространение и вне АЭС. Примером этого служит использование их в стекловаренной установке в энергосберегающей схеме для утилизации теплоты высокотемпературных установок, т.е. регенерации теплоты технологического продукта [1].

Принцип работы основан на использовании теплоты нагретых дымовых газов, которые обтекают внешнюю поверхность наружного теплообменного аппарата типа трубы Фильда. Наружная стенка установки обогревается радиационным тепловым потоком извне, часть которого передается в внутрь установки далее к внутренней трубе. Затем воздух,двигающийся во внутренней трубке и в кольцевом канале, продолжает нагреваться путем конвективного теплообмена от наружной и внутренней трубы. Была создана математическая модель [1], реализация которой осуществлялась в программе PHOENICS, позволяющая найти распределение температуры теплоносителя при движении теплоносителя в трубке Фильда.

В результате сделали следующие выводы: течение теплоносителя, в данном случае это воздух, имеет установившийся характер, однако скорость и температура воздуха обладают неравномерностью в поперечном сечении труб. Также обнаружили, что скорость нагрева теплоносителя в кольцевом канале и во внутренней трубе различаются, причем существенно. Нельзя не заметить установку с камерой для вторичного дожигания газа [3]. Сама камера представляет собой оборудование прямоугольной формы в виде параллелепипеда, дожигаемая смесь входит снизу, вход смеси высокотемпературных продуктов сгорания со стороны одной из стенок камеры, впуск воздуха через отверстия на противоположной стороне от входа продуктов сгорания и выход вторичного продукта сгорания из верхней части камеры. Стены камеры изолированы. Пластина с низкой теплопроводностью установлена на опорах внутри камеры для обеспечения рециркуляции потока с целью увеличения времени горения первичного газа.

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

К исследованию данных трубок проявляют повышенный интерес и стараются различными способами улучшить их эффективность в качестве теплообменных аппаратов. Таким образом, увеличение эффективности трубок в газотурбинных установках возможно за счет использования пористого материала [2]. Рекуперация теплоты потока внутри полевой трубы снижает термический КПД теплообменника: между цилиндрическим каналом внутренней трубы и кольцевым каналом возникает тепловой поток, называемый «паразитным». В связи с этим было решено заменить непроницаемую внутреннюю трубу на пористую, через которую часть хладагента будет вдуваться в кольцевое пространство, что приведет к эффекту тепловой защиты стенки и улучшению теплообмена. на наружной стенке кольцевого канала.

Сам экспериментальный стенд (рис. 4) представляет собой плоский канал, представляющий собой установку трех основных частей: предварительной, рабочей и выходной частей. Нижняя стенка непроницаема и представляет собой медную плиту для равномерного нагрева, в которой установлены нагреватели. Предварительный раздел необходим для равномерности потока теплоносителя, в данном случае это воздух, в который воздух поступает из ресивера. Входной конфузор установлен на самих пластинах плоского канала, чтобы обеспечить выравнивание потока на входе в рабочую часть. Верхняя стенка состоит из шести проницаемых пористых секций, над которыми расположены камеры впрыска, которые позволяют регулировать количество впрыскиваемого воздуха по длине рабочей части. Остальная часть верхней стенки также выполнена из меди. Поверхности верхней и нижней стенок теплоизолированы асбестом.

Теплообменник рассчитывался в условиях, аналогичных полевой трубе с непроницаемой стенкой. Пористая стенка считалась изготовленной из порошкового материала, материал - нержавеющей сталь.

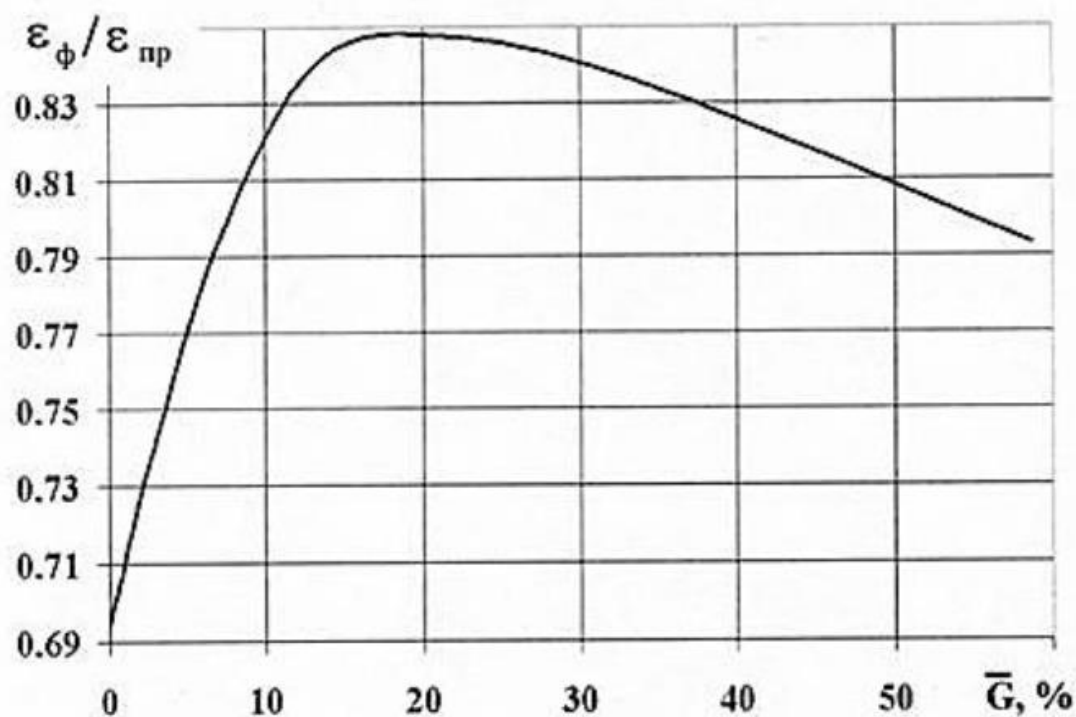


Рисунок 2 – Относительная тепловая эффективность экспериментального стенда

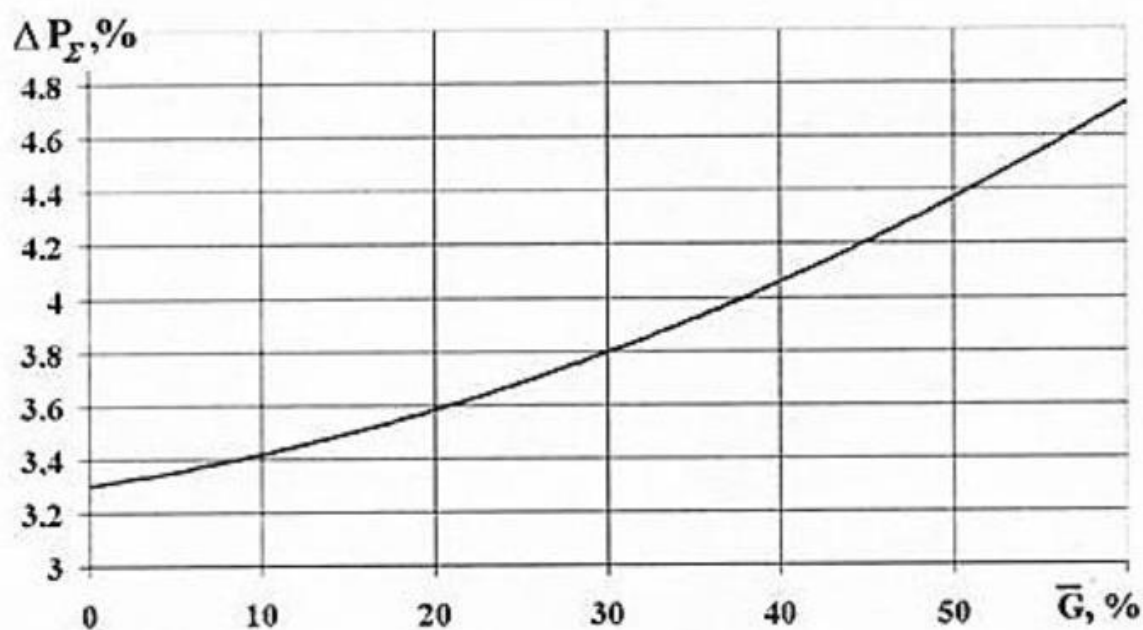


Рисунок 3 – Относительные потери давления экспериментального стенда

В этом эксперименте мы измерили: статическое давление по длине канала, статическое давление в камерах для впрыска, общее давление и температуру по высоте канала на входе в рабочую секцию и из нее, температуру верхнего и нижние стенки канала по длине и ширине, температура впрыска,

мощность, потребляемая нагревателями, расход воздуха в каждой секции впрыска, температура в ресивере.

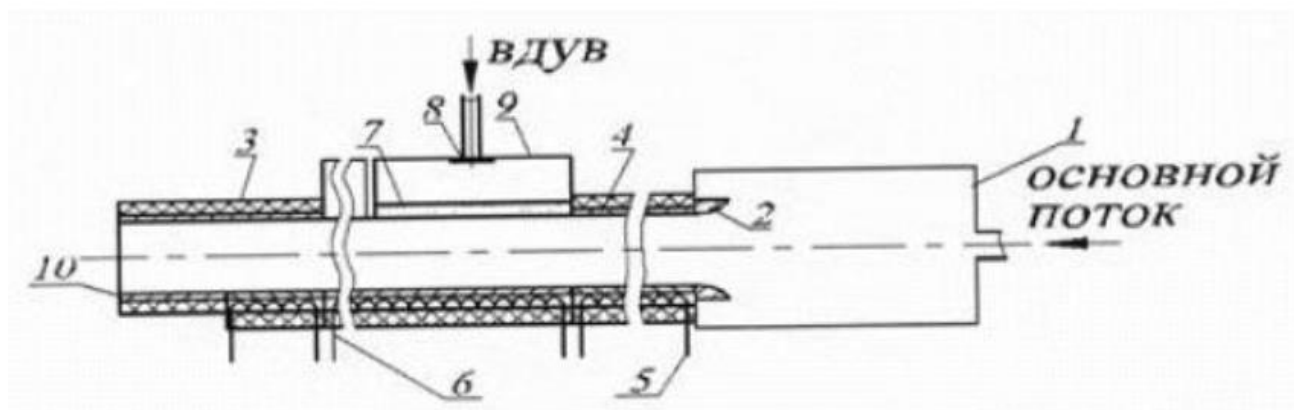


Рисунок 4 – Принципиальная схема экспериментального стенда [2]

1 - ресивер; 2 - входной конфузор; 3 - теплоизоляция; 4,10 – непроницаемая стенка; 5 - основной нагреватель; 6 – предохранительный нагреватель; 7 - пористая стенка; 8 - дефлектор; 9 - камера вдува.

В результате эксперимента было обнаружено, что для теплообменника, такого как полевая труба с пористой внутренней трубкой, тепловой КПД устройства увеличился на 15-20%, однако он также увеличился относительная потеря давления 30-40%. При сохранении относительной потери давления на том же уровне, что и без пористого материала, тепловая эффективность увеличилась на 7-10%. Полевые трубки предлагается использовать в камерах жидкостного ракетного двигателя. Изобретение может быть использовано в области изготовления ракетных двигателей в двигателях, работающих на криогенных топливных компонентах в безгазовых жидкостных ракетных двигателях (ЖРД). Изобретение относится к области ракетной тяги и может быть использовано для создания безгазовых жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), работающих на криогенных компонентах топлива. Камера ЖРД содержит камеру сгорания с регенеративным охлаждением с критическим поперечным сечением и форсункой, смесительную головку, включающую в себя блок подачи окислителя, блок подачи топлива, блок с дровами сгорания и сопла с

коаксиальной струей, установленные в указанных блоках вдоль концентрических окружностей Кроме того, в камере сгорания расположены теплообменные элементы, выполненные в виде полевых трубок, в которых вход внешней трубки и выход внутренней трубки соединены с полостями обжига базового блока, тогда как один из его путей охлаждения Теі сообщается с камерой сгорания, в варианте осуществления на наружной поверхности ребер труб Фильда. Изобретение обеспечивает повышение давления в камере ЖРД за счет улучшения условий теплообмена между продуктами сгорания топлива и топливным компонентом, используемым для привода турбин турбонасосных агрегатов.

Одной из основных проблем, возникающих при создании безгазовых ЖРД, является относительно низкое давление в камере сгорания из-за невозможности обеспечить нагрев топливного компонента, используемого для приведения турбины турбонасосного агрегата в канал охлаждения камеры, на высокий уровень. температура. Указанный ракетный двигатель работает следующим образом: топливо из насоса турбонасосного агрегата поступает в канал охлаждения камеры сгорания, затем проходит через теплообменник, установленный во внутренней полости камеры сгорания, и путь охлаждения сверхзвуковой части Из сопла камеры поступает турбины турбонасосных агрегатов и в смесительную головку камеры. Окислитель подается из насоса турбонасосного агрегата в смесительную головку камеры. В камере топливные компоненты воспламеняются, выгорают и вытекают из форсунки. Продукты сгорания, соприкасаясь с внутренней поверхностью камеры и теплообменника, отдают тепло топливу, которое приводит в движение турбины и связанные с ними насосы турбонасосных агрегатов.

Недостатками данного ЖРД являются высокая стоимость и сложность конструкции камеры. Задачей изобретения является устранение указанных недостатков и повышение давления в камере ЖРД за счет улучшения условий теплообмена между продуктами сгорания топлива и компонентом

топлива, используемого для привода турбин турбонасосных агрегатов. Решение этой проблемы достигается тем, что предлагаемая камера сгорания ЖРД согласно изобретению содержит камеру сгорания с регенеративным охлаждением с критической секцией и соплом, смесительную головку, включающую в себя узел подачи окислителя, узел подачи топлива, огонь нижний блок, в то время как в упомянутых блоках вдоль концентрических кругов установлены сопла соосно-струйного типа, а во внутренней полости камеры сгорания имеются теплообменные элементы, выполненные в виде полевых трубок, в которые вводятся наружная труба и внутренняя часть Трубки соединены с полостями узла инжектора, при этом одна из его полостей сообщена с каналом охлаждения камеры сгорания.

В варианте исполнения на внешней поверхности трубок Фильда выполнены ребра. Предлагаемая камера ЖРД благодаря своим отличительным признакам обеспечивает решение технической задачи - повышение давления в камере ЖРД за счет улучшения условий теплообмена между продуктами сгорания топлива и топливным компонентом, используемым для привода турбин турбонасосных агрегатов.



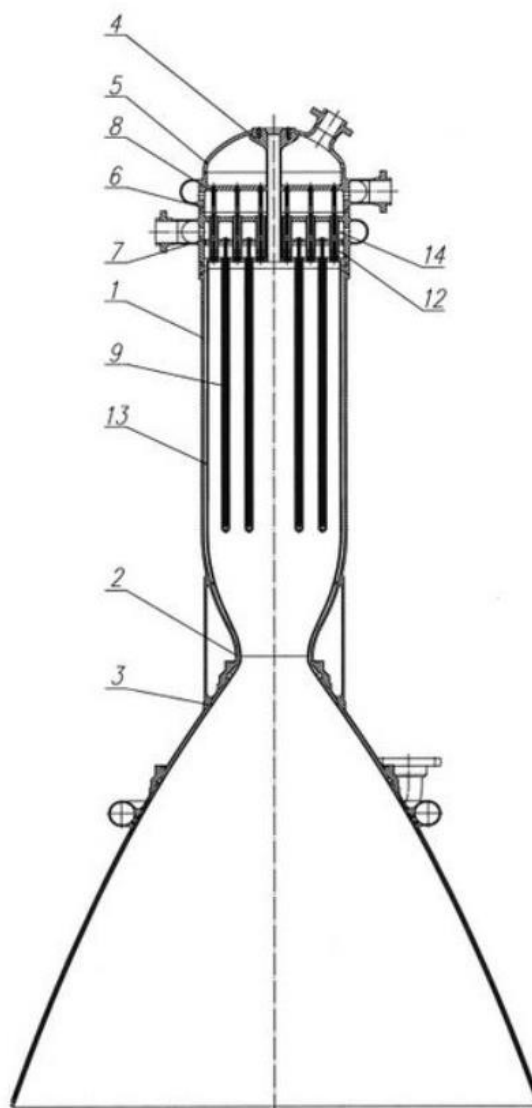


Рисунок 5 – Камера жидкостного ракетного двигателя []

Предлагаемая камера ракетного двигателя содержит камеру 1 сгорания с регенеративным охлаждением с критическим поперечным сечением 2 и форсунку 3, смесительную головку 4, которая включает в себя блок 5 подачи окислителя, блок 6 подачи топлива, блок 7 дна огня и На этих блоках концентрические окружности выровнены струйными соплами 8, причем во внутренней полости камеры сгорания 1 расположены теплообменные элементы, выполненные в виде трубок Фильда 9. Трубка Фильда 9 включает в себя наружную трубку 10 и внутреннюю трубку 11. Вход наружной трубки 10 соединен с полостью 12 блока огневого днища 7, которая сообщается с трактом охлаждения 13 камеры сгорания 1, а выход внутренней трубки 11 соединен с полостью 14 блока огневого днища 7. В варианте исполнения на

внешней поверхности трубок Фильда 9 выполнены ребра 15. Камера ЖРД работает следующим образом. Горючее из насоса турбонасосного агрегата ЖРД поступает в тракт охлаждения 13 камеры сгорания 1 и далее в полость 12 блока огневого днища 7. В полости 12 горючее равномерно распределяется между трубками Фильда 9. По кольцевому зазору между внутренней поверхностью наружной трубки 10 и наружной поверхностью внутренней трубки 11 горючее поступает к глухому концу наружной трубки 10, где оно разворачивается и направляется по внутренней трубке 11 в полость 14 блока огневого днища 7. Из полости 14 горючее поступает в турбины турбонасосных агрегатов ЖРД и далее в блок подачи горючего 6 смесительной головки 4, где оно равномерно распределяется по соосно-струйным форсункам 8. Окислитель подается из насоса турбонасосного агрегата в блок подачи окислителя 5 смесительной головки 4, где он равномерно распределяется по соосно-струйным форсункам 8. Из сопел 8 коаксиальных струй топливные компоненты входят в камеру 1 сгорания, где они воспламеняются и горят. Продукты сгорания компонентов топлива, контактирующих с внутренней поверхностью камеры сгорания 1 и внешней поверхностью трубок месторождения 9, отдают тепло топливу, которое приводит в движение турбины и связанные с ними насосы турбонасосных двигателей ракетного двигателя. На внешней поверхности трубок Field 9 выполнены ребра 15 для интенсификации процесса теплообмена.

Использование предлагаемого изобретения позволит повысить давления в камере ЖРД за счет улучшения условий теплообмена между продуктами сгорания топлива и компонентом топлива, используемого для привода турбин турбонасосных агрегатов.

## 2. Математическая модель ТВС с холостым ходом теплоносителя

Так называемые ТВС с холостым ходом теплоносителя могут применяться наряду с рассмотренной выше схемой, когда кольцевой ТВЭЛ охлаждается теплоносителем при двухходовом движении. Эти схемы могут быть использованы, если необходимо, например, высвободить один торец активной зоны от подводящих коммуникаций. Схемы каналов с холостым ходом теплоносителя показаны на рисунке 6.

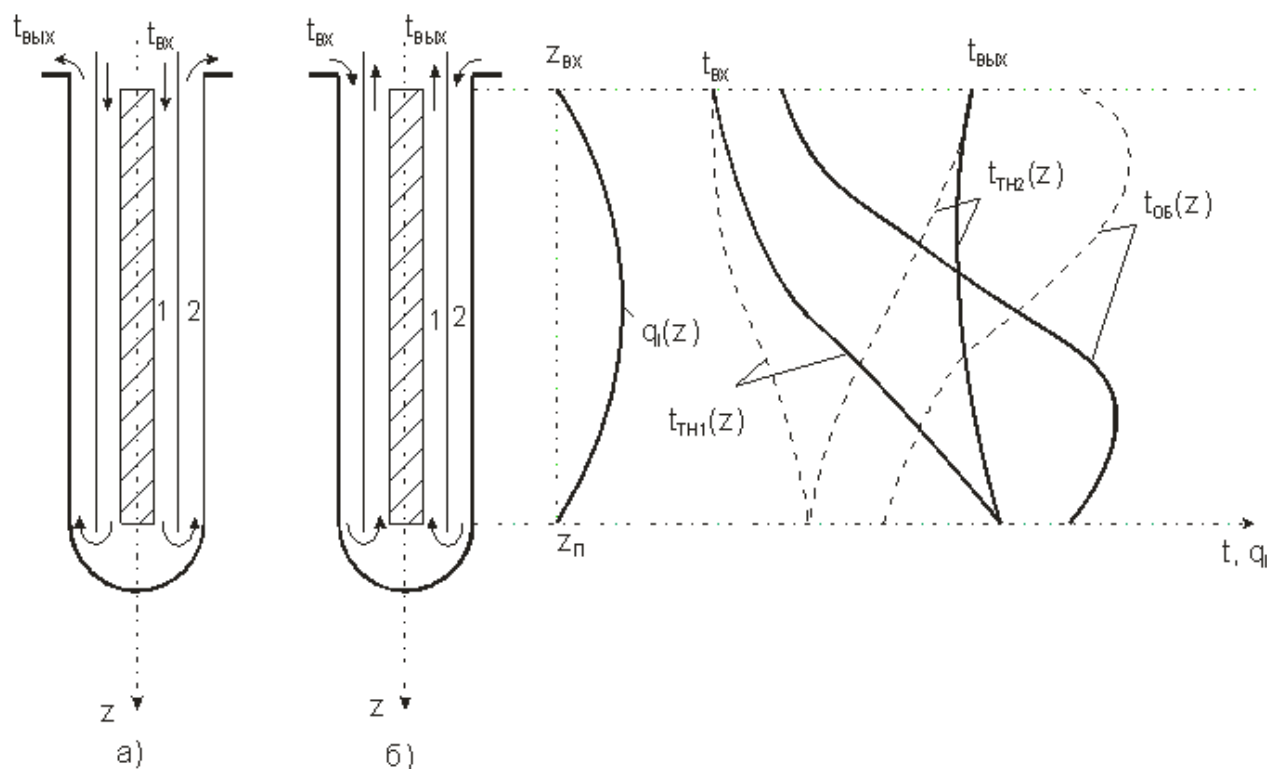


Рисунок 6 –Схемы каналов с холостым ходом теплоносителя:

- а) – теплоноситель сначала омывает ТВС и выходит из канала холостым ходом;
- б) – теплоноситель входит в холостой канал и затем омывает ТВС.

Взяв за основу данное решение, воспроизводим похожую установку, но уже источником тепла будет являться ТЭНП, расположенный аналогично ТВС в центральной трубе. Сам стенд размещен горизонтально, чтобы обеспечить вынужденное движение ТН .

Цель данной работы заключается в нахождении коэффициентов теплоотдачи в зависимости от различных параметров теплоносителя и изменения мощности ТЭНП, а также получение коэффициентов эмпирических уравнений подобия путем проведения экспериментов и сравнение полученных данных с ранее полученными эмпирическими уравнениями подобия.

Температурные условия работы твэла изменяются в зависимости от направления движения теплоносителя. Так, при движении по схеме, изображенной на рис.6,а) температура поступившего во внутренний канал (1) теплоносителя начинает возрастать как за счет теплоотдачи от твэла, так и вследствие перетечки тепла от более горячего от более горячего теплоносителя, движущегося встречно во внешнем канале (2). В этом случае температура теплоносителя в точке поворота будет выше температуры выхода из канал, т.е.  $T_{\text{TH}(Z_{\text{п}})} > T_{\text{вых}}$ . При обратном ходе теплоносителя (рис.6,б)) теплопередача идет в обратном направлении – из внутреннего канала (1) во внешний (2). В этом случае температура теплоносителя в точке поворота будет меньше выходной, т.е.  $T_{\text{TH}(Z_{\text{п}})} < T_{\text{вых}}$ . Заметим, что в обоих случаях подогрев теплоносителя  $\Delta T_{\text{TH}} = T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}$  определяется только тепловыделением в твэле.

Анализ температурных режимов представленных схем показывает преимущества схемы, когда теплоноситель поступает в холостой канал и лишь, затем омывает твэл (рис.6,б)): в этом случае температура теплоносителя монотонно возрастает и твэл оказывается в более благоприятных условиях в отношении тепловых нагрузок. К недостаткам данной схемы следует отнести то, что давление во внешнем канале (2) превышает давление во внутреннем (1) и разделительная стенка работает на смятие. В аварийных ситуациях с резкими перепадами давления, это обстоятельство может привести к нарушению целостности канала. С этой точки зрения, схема, когда теплоноситель входит сначала во внутренний (1) канал, является более предпочтительной, т.к. в данном случае разделительная стенка будет работать на растяжение. При сведении в этом случае теплопередачи через разделительную стенку к

минимуму (посредством теплоизоляции), температура теплоносителя в точке поворота станет близка к выходной температуре.

Рассмотрим особенности расчета температурного режима в указанных схемах.

## 2.1. Теплоноситель сначала омывает твэл и выходит из канала холостым ходом (рис.6,а).

В этом случае температура теплоносителя во внутреннем канале 1 для любого сечения определяется выражением:

$$T_{T1}(z) = T_{ВХ} + \frac{1}{Gc_p} \int_{z_{ВХ}}^z q_l(z) dz + \frac{k\Pi_{\text{тепл}}}{Gc_p} \int_{z_{ВХ}}^z [T_{T2}(z) - T_{T1}(z)] dz \quad (2.1)$$

где  $k$  и  $\Pi_{\text{тепл}}$  - коэффициент теплопередачи и тепловой периметр разделительной стенки.

Из (2.1) видно, что приращение температуры теплоносителя в обогреваемом канале идет за счет отвода тепла от твэла и переноса тепла через разделительную стенку, обусловленного разностью температур  $T_{T2}(z)$  во внешнем канале и  $T_{T1}(z)$  во внутреннем.

Произведение  $k\Pi_{\text{тепл}}$  представляет собой линейный коэффициент теплопередачи разделительной стенки:

$$k_l = k\Pi_{\text{тепл}} = \pi \left( \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2} \right)^{-1} \quad (2.2)$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  -коэффициенты теплоотдачи во внутреннем и внешнем каналах;  $d_1$  ,  $d_2$  - внутренний и внешний диаметры разделительной стенки;  $\lambda$  - коэффициент теплопроводность материала стенки.

Температура теплоносителя для того же сечения  $z$  во внешнем (2) канале определяется следующим образом:

$$T_{T2}(z) = T_{ВЫХ} + \frac{k\Pi_{\text{тепл}}}{Gc_p} \int_{z_{ВХ}}^z [T_{T2}(z) - T_{T1}(z)] dz \quad (2.3)$$

т.е.  $T_{T2}(z)$  превышает температур выхода на величину, обусловленную переносом тепла из внешнего канала во внутренний на участке от сечения  $z$  до выхода теплоносителя из активной зоны.

Вычитая из (2.3) уравнение (2.1), получим

$$T_{T2}(z) - T_{T1}(z) = \Delta T_T - \frac{1}{Gc_p} \int_{z_{BX}}^z q_l(z) dz \quad (2.4)$$

Где  $\Delta T_T = T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}$

Подставляя теперь (2.4) в уравнения (2.1) и (2.3), получим выражение для температур теплоносителя во внутреннем и внешнем каналах:

$$T_{T1}(z) = T_{\text{вх}} + \frac{1}{Gc_p} \int_{z_{BX}}^z q_l(z) dz + \frac{k\Pi_{\text{тепл}}}{Gc_p} \int_{z_{BX}}^z [\Delta T_T - \frac{1}{Gc_p} \int_{z_{BX}}^z q_l(z) dz] dz \quad (2.5)$$

Как видно, температура теплоносителя в канале 1 однозначно определяется через известные величины. Аналогично определяется и температура во внешнем канале  $T_{T2}(z)$ . Для этого в уравнении (2.3) вместе разности температур в подынтегральном выражении подставляется ее значение, определяемое уравнением (2.4), получаем:

$$T_{T2}(z) = T_{\text{вых}} + \frac{k\Pi_{\text{тепл}}}{Gc_p} \int_{z_{BX}}^z [\Delta T_{\text{TH}} - \frac{1}{Gc_p} \int_{z_{BX}}^z q_l(z) dz] dz \quad (2.6)$$

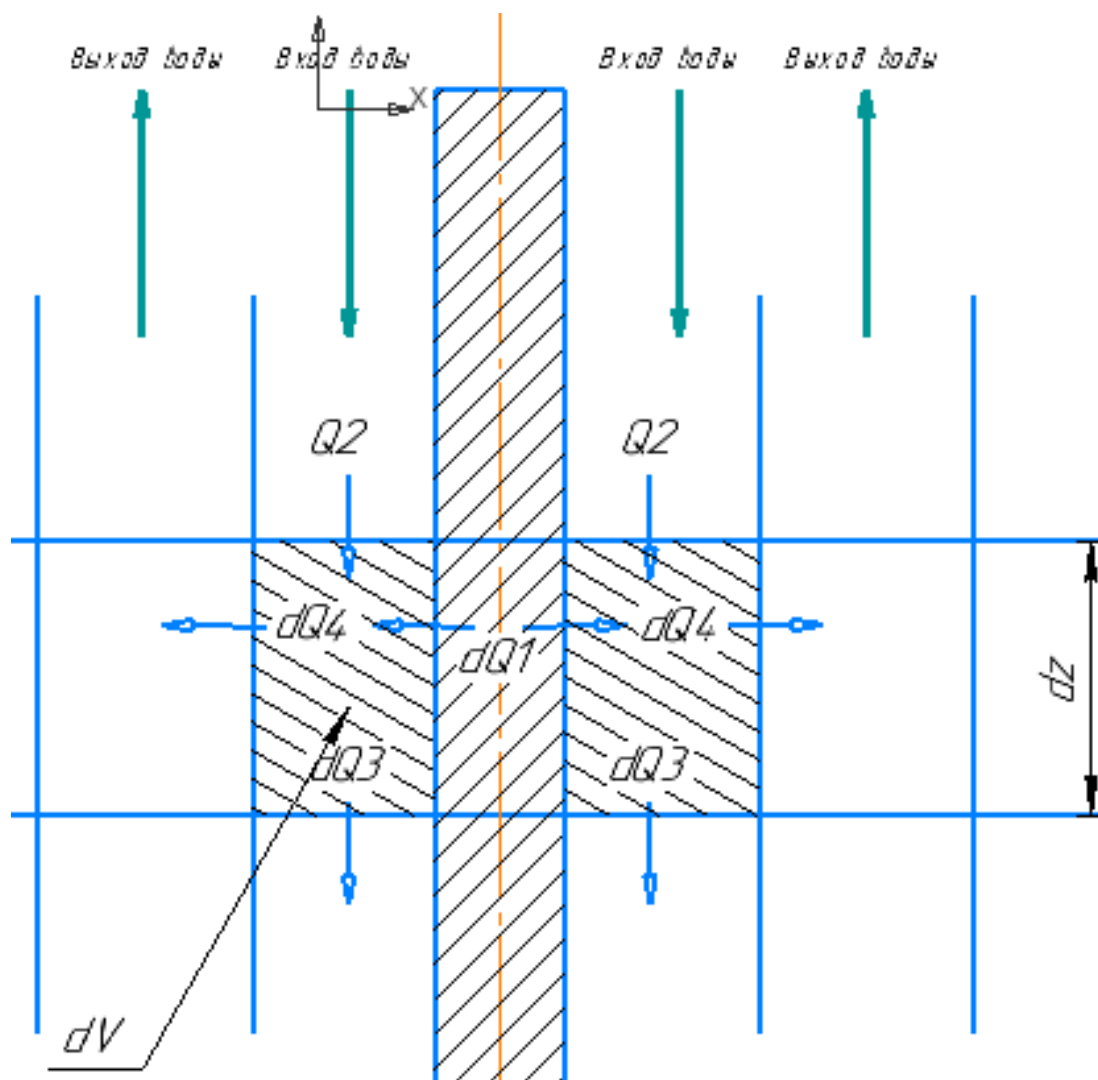


Рисунок 7 – Схема распределения тепловой энергии входной теплоносителя сначала омывает твэл (рис.6,а).

Тепловой баланс:

$$dQ1+Q2=dQ3+dQ4 \quad (2.7)$$

$$\text{где } dQ1=q_l dz \quad (2.8)$$

$$Q2=C_p G T_1 \quad (2.9)$$

$$dQ4= k(T_1 - T_2)\pi d_1 dz \quad (2.10)$$

$$dQ3=C_p G (T_1 + dT_1) \quad (2.11)$$

Вычитая из (2.8), (2.9) (2.10) (2.11) уравнение (2.7) получаем

$$q_l dz + C_p G T_1 = k(T_1 - T_2) \pi d_1 dz + C_p G (T_1 + dT_1) \quad (2.12)$$

$$q_l dz - C_p G dT_1 - k(T_1 - T_2) \pi d_1 dz = 0 \quad (2.13)$$

$$C_p G dT_1 = q_l dz - k(T_1 - T_2) \pi d_1 dz \quad (2.14)$$

$$dT_1 = \frac{q_l dz}{C_p G} - \frac{k(T_1 - T_2) \pi d_1}{C_p G} dz \quad (2.15)$$

$$\int_{z_{\text{BX}}}^z dT_1 = \int_{z_{\text{BX}}}^z \frac{q_l}{C_p G} dz - \int_{z_{\text{BX}}}^z \frac{k(T_1 - T_2) \pi d_1}{C_p G} dz \quad (2.16)$$

После дифференциального уравнения, получаем:

$$T_1(z) - T(z_{\text{BX}}) = \frac{1}{G C_p} \int_{z_{\text{BX}}}^z q_l(z) dz + \frac{k \Pi_{\text{тепл}}}{G C_p} \int_{z_{\text{BX}}}^z [T_{\text{TH2}}(z) - T_{\text{TH1}}(z)] dz \quad (2.12)$$

$$T_1(z) = T(z_{\text{BX}}) + \frac{1}{G C_p} \int_{z_{\text{BX}}}^z q_l(z) dz + \frac{k \Pi_{\text{тепл}}}{G C_p} \int_{z_{\text{BX}}}^z [T_{\text{TH2}}(z) - T_{\text{TH1}}(z)] dz \quad (2.13)$$



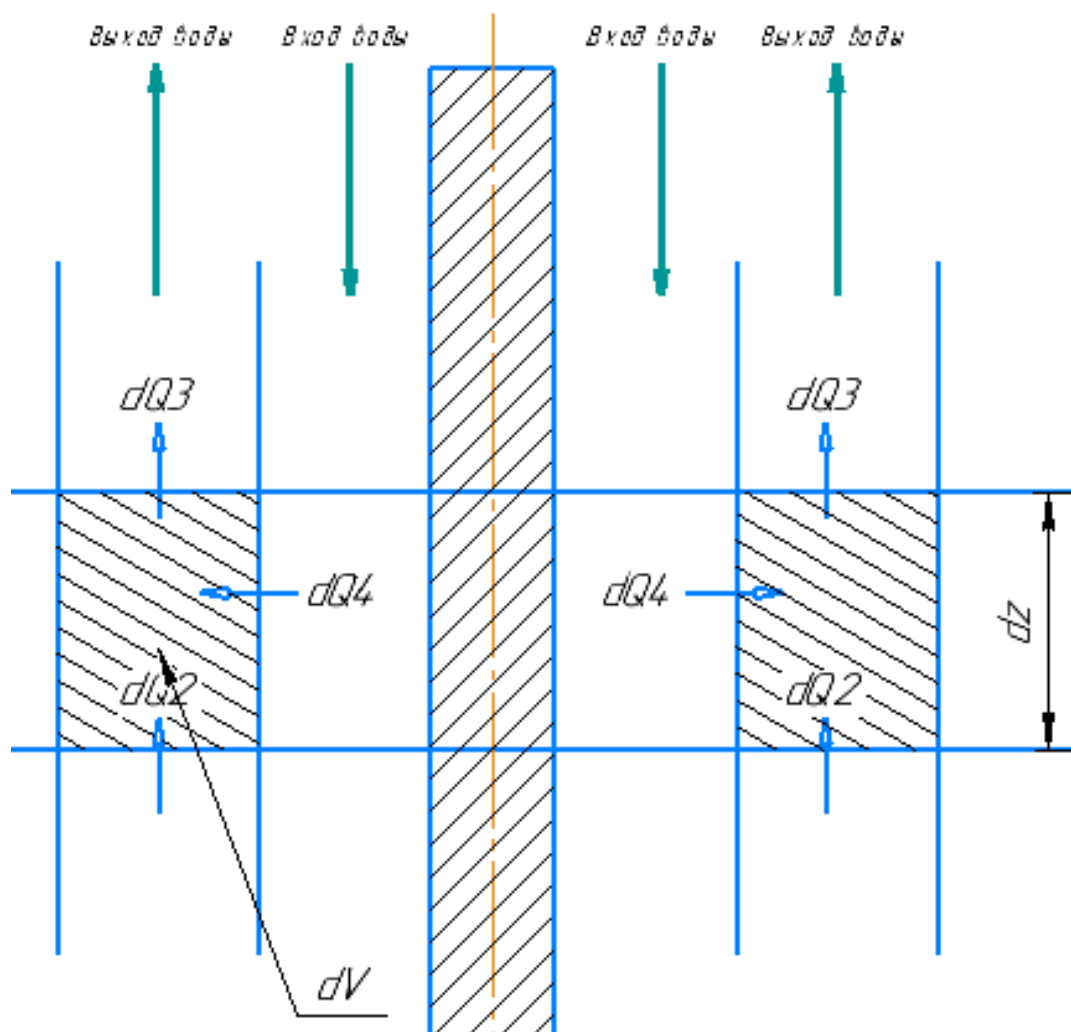


Рисунок 8 – Схема распределения тепловой энергии выходит из канала холостым ходом (рис.6,а).

Тепловой баланс:

$$Q_2 = dQ_3 + dQ_4 \quad (2.14)$$

$$C_p G T_2 = C_p G (T_2 + dT_2) + k(T_1 - T_2) \pi d_2 dz \quad (2.15)$$

Сокращаем:

$$C_p G dT_2 + k(T_1 - T_2) \pi d_2 dz = 0 \quad (2.16)$$

$$C_p G dT_2 = k(T_2 - T_1) \pi d_2 dz \quad (2.17)$$

$$dT_2 = \frac{k(T_2 - T_1) \pi d_2}{C_p G} dz \quad (2.18)$$

$$\int_{z_{\text{ВЫХ}}}^z dT_2 = \int_{z_{\text{ВЫХ}}}^z \frac{k(T_2 - T_1) \pi d_2}{C_p G} dz \quad (2.19)$$

$$T_2(z) - T(z_{\text{ВЫХ}}) = \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}}}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВЫХ}}}^z [T_{\text{ТН2}}(z) - T_{\text{ТН1}}(z)] dz \quad (2.20)$$

$$T_2(z) = T(z_{\text{ВЫХ}}) + \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}}}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВЫХ}}}^z [T_{\text{ТН2}}(z) - T_{\text{ТН1}}(z)] dz \quad (2.21)$$

Вычитая из(2.21) уравнение (2.13) ,получаем

$$T_2(z) - T_1(z) = T(z_{\text{ВЫХ}}) - T(z_{\text{ВХ}}) - \frac{1}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z q_l(z) dz = \Delta T_{\text{Т}} - \frac{1}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z q_l(z) dz \quad (2.22)$$

Где  $\Delta T_{\text{Т}} = T(z_{\text{ВЫХ}}) - T(z_{\text{ВХ}})$

Подставляя выражение (2.22)в уранение (2.13), имеем

$$T_1(z) = T(z_{\text{ВХ}}) + \frac{1}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z q_l(z) dz + \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}}}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z [\Delta T_{\text{Т}} - \frac{1}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z q_l(z) dz] dz \quad (2.23)$$

Где  $q_l(z) = \frac{Q}{l_{\text{ТЭН}}} = \text{const}$

$$\begin{aligned} &= T(z_{\text{ВХ}}) + \frac{q_l}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z dz + \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}}}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z [\Delta T_{\text{Т}} - \frac{q_l}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z dz] dz \\ &= T(z_{\text{ВХ}}) + \frac{q_l}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z dz + \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}}}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z \Delta T_{\text{Т}} dz - \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}} q_l}{G^2 c_p^2} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z \int_{z_{\text{ВХ}}}^z dz dz \\ &= T(z_{\text{ВХ}}) + \frac{q_l}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z dz + \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}}}{Gc_p} \Delta T_{\text{Т}} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z dz - \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}} q_l}{G^2 c_p^2} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z \int_{z_{\text{ВХ}}}^z dz dz \end{aligned}$$

$$T_1(z) = T(z_{\text{ВХ}}) + \frac{q_l}{Gc_p} (z - z_{\text{ВХ}}) + \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}}}{Gc_p} \Delta T_{\text{Т}} (z - z_{\text{ВЫХ}}) - \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}} q_l}{G^2 c_p^2} \left( \frac{(z - z_{\text{ВХ}})^2}{2} \right)$$

Подставляя выражение (2.22)в уранение (2.21), имеем

$$T_2(z) = T_{\text{ВЫХ}} + \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}}}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z \left[ \Delta T_{\text{Т}} - \frac{1}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z q_l(z) dz \right] dz \quad (2.24)$$

$$= T_{\text{ВЫХ}} + \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}}}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z \Delta T_{\text{Т}} dz - \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}} q_l}{G^2 c_p^2} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z \int_{z_{\text{ВХ}}}^z dz dz$$

$$= T_{\text{ВЫХ}} + \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}}}{Gc_p} \Delta T_{\text{Т}} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z dz - \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}} q_l}{G^2 c_p^2} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z \int_{z_{\text{ВХ}}}^z dz dz$$

$$T_2(z) = T_{\text{ВЫХ}} + \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}}}{Gc_p} \Delta T_{\text{Т}} (z - z_{\text{ВЫХ}}) - \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}} q_l}{G^2 c_p^2} \left( \frac{(z - z_{\text{ВХ}})^2}{2} \right)$$

2.2.Схема на рис.6,б теплоноситель входит в холостой канал и затем омывает ТВС.

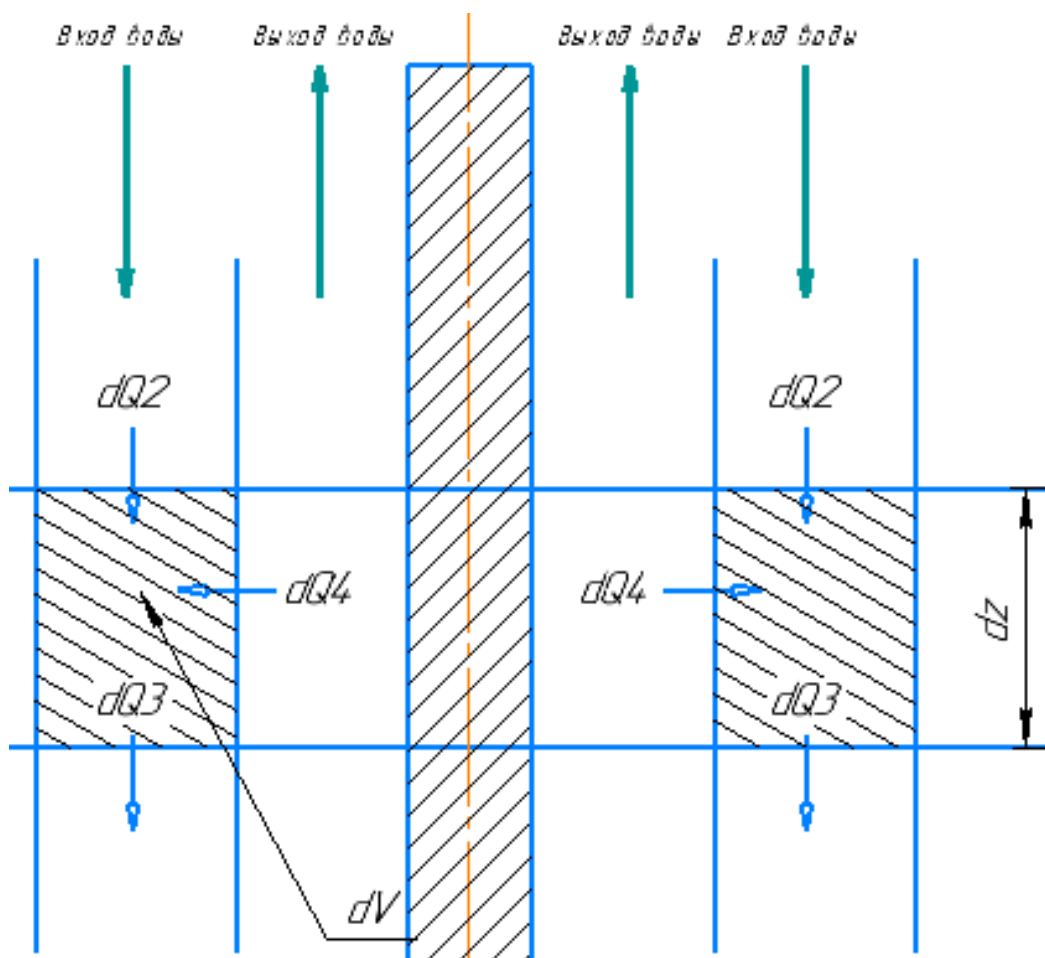


Рисунок 9 – Схема распределения тепловой энергии теплоносителя входит в холостой канал (рис.6,б).

Температура теплоносителя по высоте канала 1 определяется уравнением

$$T_1(z) = T(z_{\text{ВЫХ}}) - \frac{1}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z q_l(z) dz + \frac{k_{\text{ПТЕПЛ}}}{Gc_p} \int_{z_{\text{ВХ}}}^z [T_{T1}(z) - T_{T2}(z)] dz \quad (2.25)$$



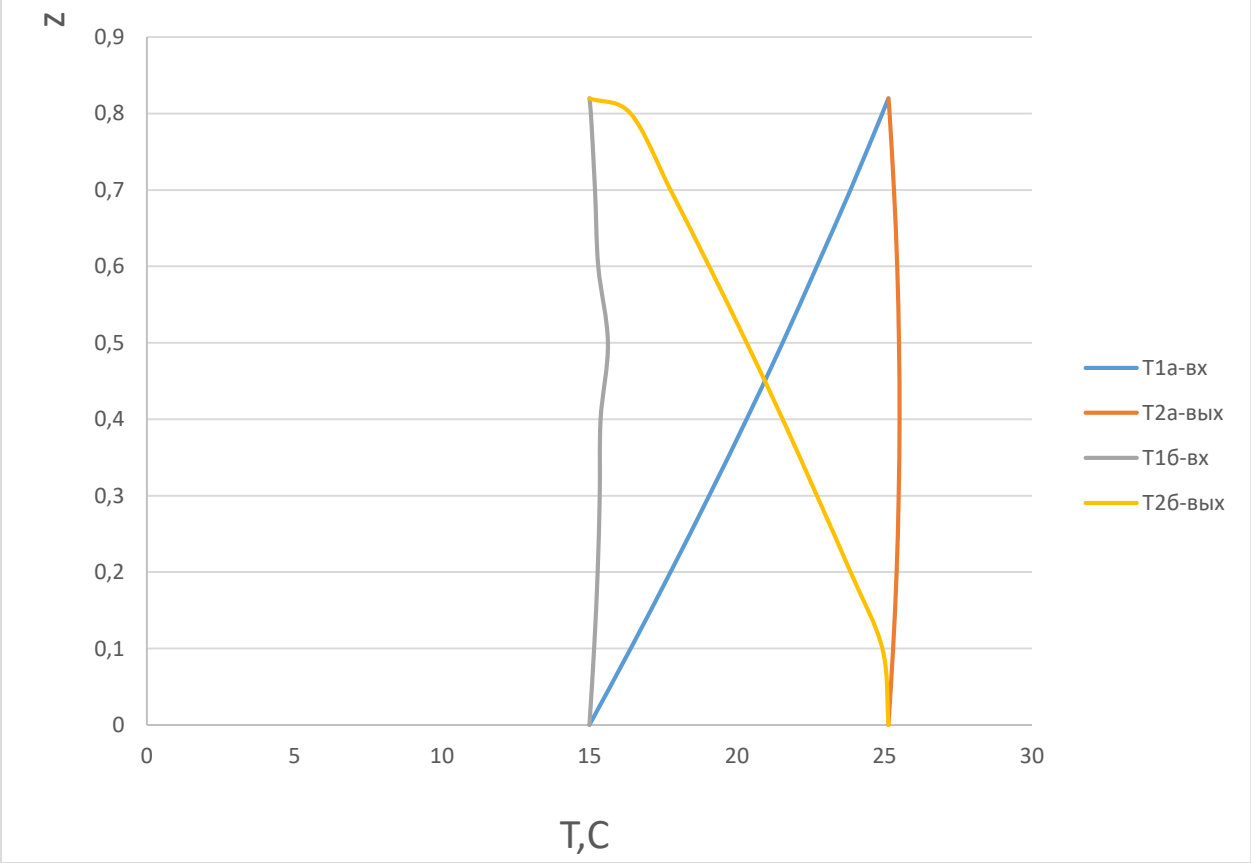
Таблица 1 – Параметры трубки Фильда

$d_{\text{ТЭН}}, \text{ м}$	$l_{\text{ТЭН}}, \text{ м}$	$R_{\text{ТЭН}}, \text{ Ом}$	$d_{\text{ВН1}}, \text{ м}$	$d_{\text{ВН2}}, \text{ м}$	$L_1, \text{ м}$	$d_{\text{ВН2}}, \text{ м}$	$d_{\text{ВН2}}, \text{ м}$	$L_2, \text{ м}$
0,016	0,82	38	0,026	0,034	0,83	0,04	0,048	0,75
$T_{\text{ВХ}}, ^\circ\text{C}$	$C_p, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$\nu, \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	$\lambda_{\text{ж}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$w_1$	$w_2$	$d_{\text{ЭК1}}$	$d_{\text{ЭК2}}$
15	4189,4	$1,1387 \cdot 10^{-6}$	0,59	999	0,18	0,5	0,01	0,006
$G, \frac{\text{кг}}{\text{с}}$	$Re_1$	$Pr_1$	$C_1$	$Re_2$	$Pr_2$	$C_2$	$\alpha_1, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$\alpha_2, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
0,014	1580,75	8,077	16839925	2634,58	8,077	6282	4333	649
$Q, \text{ Вт}$	$Q_v, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	$\beta$	$q_F, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$q_l, \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$	$T_{\text{ТЫХ}}, ^\circ\text{C}$	$k_l$	$\Delta T$	$F_{\text{ТЭН}}, \text{ м}^2$
600	$1,413 \cdot 10^{-5}$	0,00015	14556,8	731,7	25,14	11,15	10,14	0,041

Таблица 2 – Результаты расчета

$z$	$T_1(a)$	$T_2(a)$	$T_1(б)$	$T_2(б)$
0	15	25,14	15	25,14
0,1	16,4	25,3	15,16	24,93
0,2	17,75	25,42	15,28	23,85
0,3	19,06	25,49	15,35	22,71
0,4	20,33	25,52	15,38	21,55
0,5	21,55	25,5	15,63	20,33
0,6	22,71	25,44	15,3	19,06
0,7	23,85	25,33	15,19	17,75
0,8	24,93	25,18	15,05	16,4
0,82	25,14	25,14	15	15

График температурного режима в каналах с холостым ходом  
теплоносителя



### 3. Описание принципиальной схемы экспериментальной установки

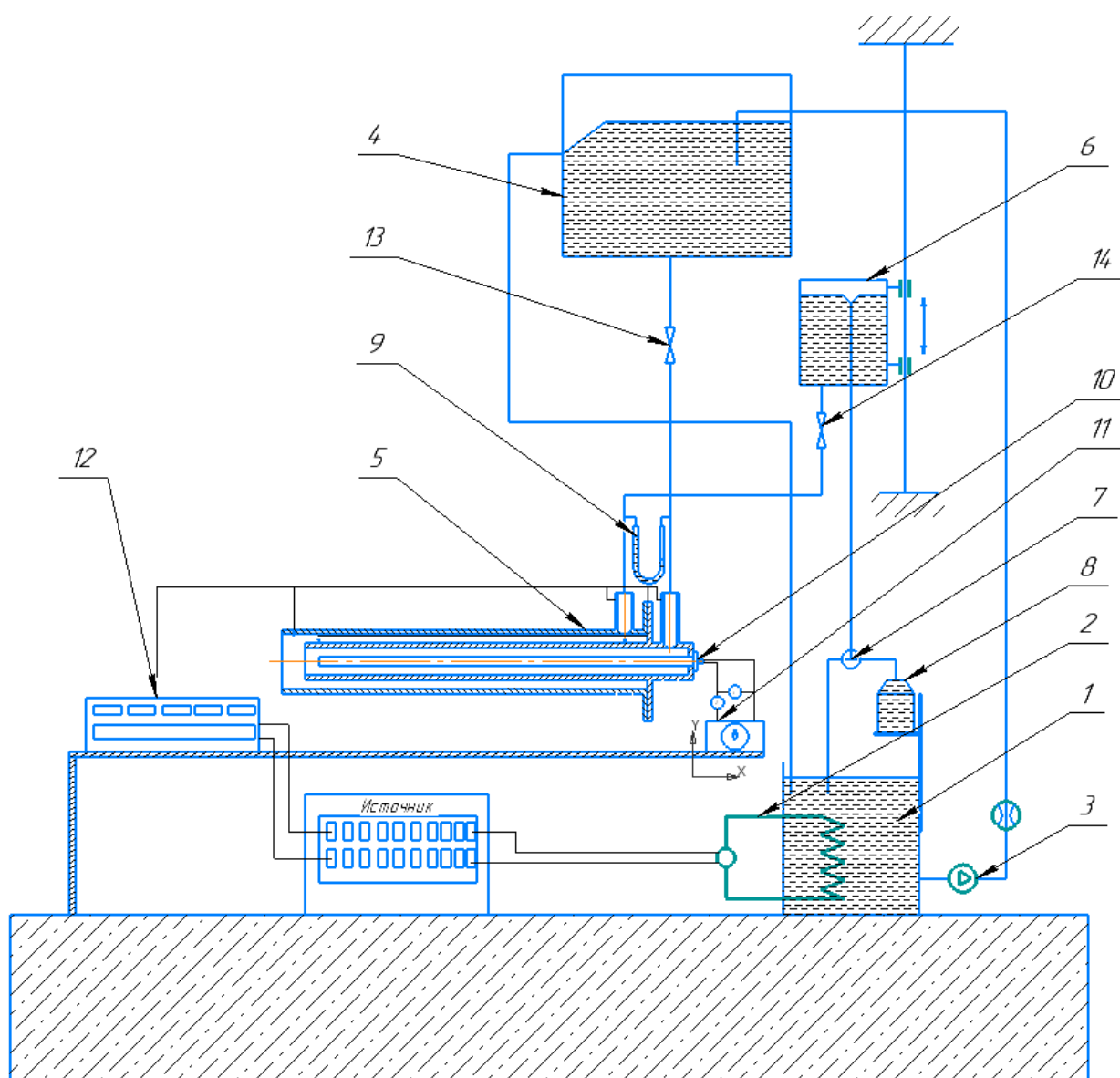


Рисунок 11 – Принципиальная схема лабораторной установки

1 – Нижний бак; 2 – Холодильник; 3 – Насос; 4 – Верхний бак; 5 – Труба Фильда;  
6 – Переливной сосуд; 7 – Трехходовой кран; 8 – Мерный бачок; 9 – Манометр;  
10 – ТЭНП; 11 – Блок регулирования мощности; 12 – Переключатель;  
13 – Задвижка;

В схеме экспериментальная установка для исследования параметров трубки Фильда. Холодная вода из нижнего бака насосом 3 подается в верхний бак 4. Уровень воды в баке 4 при помощи переливной трубы поддерживается постоянным. Из бака 4 вода поступает к задвижки 5, позволяющие осуществлять

вход ТН в кольцевое межтрубное пространство и выход из внутренней трубы, так и в обратном направлении, и пройдя последний попадет в переливной сосуд 6, из которого через трехходовой кран 7 направляется в мерный бачок 8 или в нижний бак. Измерение расхода холодной воды достигается путем перемещения переливного сосуда 6 по вертикали вдоль направляющей штанги. Расход воды определяется по объему или весу воды, поступающей в мерный бачок.

ТЭНП 10 обеспечивает нагревание ТН, в нашем случае это вода, которая движется внутри теплообменного аппарата. Питание ТЭНП происходит за счет блока регулирования мощности 11, напряжение которого 220 Вольт. Для определения коэффициента теплопередачи необходимо знать начальные параметры ТН и труб из нержавеющей стали. Для этого на входе и выходе установлены манометры 3, показывающие давление ТН, а также на входе в трубке Фильда установлен расходомер (счетчик воды). Измерение температуры на входе и выходе из экспериментальной установки осуществляется термопарами. Термопары также установлены в точке смешения потока на выходе из внутренней трубы и на входе в межтрубное пространство и на поверхности внутренней трубы, для измерения температуры стенки. Все термопары подключены к галетному переключателю 12, который подключен к милливольтметру. Таким образом, переключением входящих сигналов можно измерить напряжение на концах термопар во всех ключевых точках с помощью одного милливольтметра.

Для предотвращения накипеобразования и коррозии ТЭНП, необходимо после окончания работы промыть теплообменную установку холодной водой, при этом создав «тепловой удар» (включить ТЭНП без воды на 2-3 минуты с дальнейшей промывкой холодной водой). Таким образом, охлаждение теплоносителем резко меняет размеры ТЭНП и с его поверхности отделяется накипь. Горячая вода поступает в нижнем баке и охлаждает в холодильнике 11.



#### 4. Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка приведена на рисунок 12

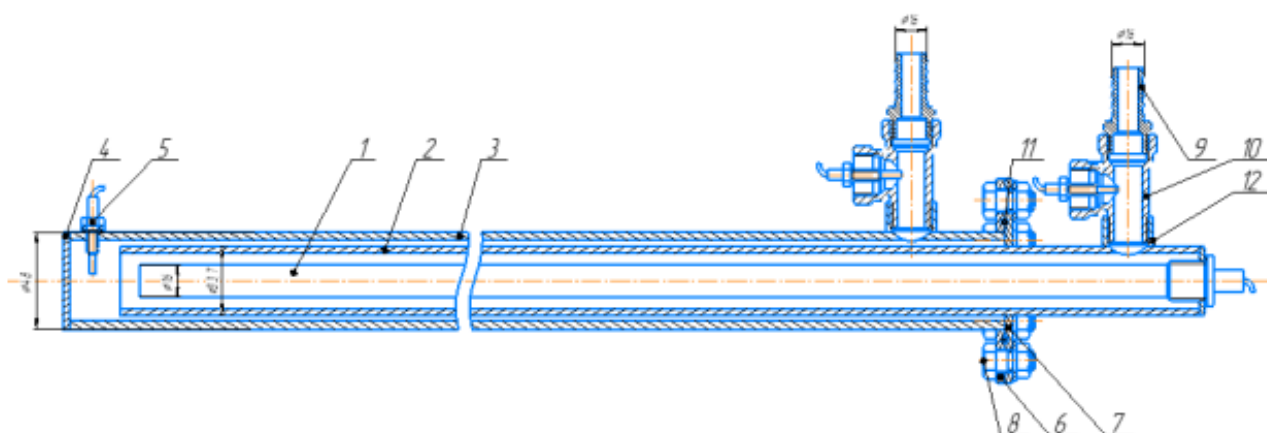


Рисунок 12 – Экспериментальная установка

Теплообменник типа трубки Фильда состоит из наружной 3 и внутренней 2 трубок из нержавеющей стали марки 08X18H10T, с внешним диаметром 48 мм и 33,7 мм длиной 760 мм и 830 мм соответственно. Трубы расположены горизонтально и параллельно друг другу. К каждой из труб приварены фланцы 6 и 7, с помощью которых осуществляется сборка установки и параллельное расположение труб. Между фланцами установлено уплотнительное кольцо 11, предназначенное для предотвращения течи ТН и герметичного вывода проводов от установленных во внутренней трубе термопар.

Герметичность наружной трубы осуществляется с помощью заглушки

Для подвода и отвода теплоносителя используются шланги которые крепятся к штуцерам 9. Для крепления штуцеров использованы тройники 10 и фитинги 12. В теплообменнике находятся пять термодатчиков 5, три из которых помещены в поток теплоносителя, а две впаяны непосредственно во внутреннюю трубу.

Для нагрева ТН предусмотрен ТЭНП, имеющий диаметр 16 мм и длину 800мм, мощностью 1200 Вт. Экспериментальная установка располагается в корпусе, размещенном на поверхности стола.

## 5. Компонировка лабораторного стенда

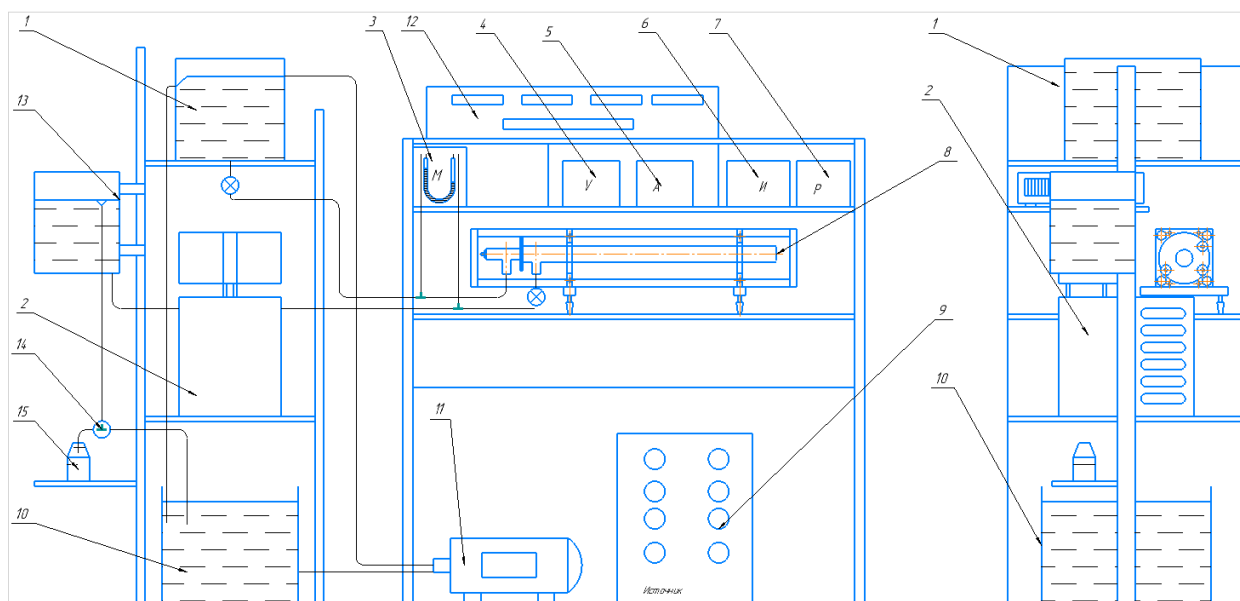


Рисунок 13 – Экспериментальная установка

1– Верхний бак; 2 –Термостарт; 3 – Манометр; 4 – Вольметр; 5 – Амперметр; 6 – Источник 7 – Блок регулирования мощности; 8 – ТЭНП; 9-Основный источник; 10 – Нижний бак; 11– Насос; 12 – Переключатель; 13 – Переливный бак; 14 – Трехходовый кран;15 – Мерный бачок.

Компоновка оборудования в лаборатории находится в системе, состоящей из двух стендов: один большой на правом и один маленький на левом.

На большом стенде расположены 4 маленьких полки, в котором есть измерительные приборы, источники питания и система Фильда:

- На самом нижнем этаже расположены насос 11 и основной источник 9. Из нижнего бака 10 вода перекачивается в систему термостарта 2 и подачи холодной воды в систему трубопроводов ТЭНП Фильда 8 насосом 11. Для обеспечения и подключения к другим измерительным приборам в этой системе использован основной источник 9.

- На втором этаже расположен ТЭНП Фильда 8. Это место, где вода из верхнего бака 1 поступает в вход ТЭНП Фильда и через его нагревается вода.

Нагретая вода в ТЭНП Фильда выходит в нижний бак 10 из выхода этой системы через трубопроводы.

- На третьем этаже расположены измерительные приборы, такие как манометр, вольметр, амперметр, блок регулирования мощности. В частности, давление на входе и выходе охладителей теплообменника Фильда 8 измеряется манометром 3, измерительные приборы тока 5 и напряжением 4 используются для нагревателя ТЭНП 8 и блок регулирования мощности нагревателя ТЭНП 8.

- На четвертом этаже расположена система, которая подключается к внутреннему устройству измерения температуры ТЭНП, температуре охлаждающей жидкости внутри трубы и температуре наружной части трубы, а также температуре охлаждающей жидкости на входе и на выходе ТЭНП Фильда 8. Все значения измеренной температуры в лабораторном процессе будут отображаться на переключателе 12.

На маленькой стенде расположены 3 полки. В каждой полке размещены водяные баки и устройства водяного охлаждения:

- На первом этаже находится нижний бак 10, в который поступает вода из ТЭНП Фильда 8, а также подается вода для термостарта 2 насосом 11.

- На втором этаже установлена термостартом 2, в котором нагретая вода от ТЭНП Фильда 8 охлаждается перед возвратом в верхний бак 1, а затем обратно в ТЭНП Фильда 8.

- На третьем этаже установлен верхний бак 1 для подачи охлажденной воды с указанной температуры в ТЭНП Фильда 8.

Кроме того, в левой стороне от маленького стенда еще размещены переливной бак 13 и мерноградуированный бачок 15 для измерения расхода воды.

## 6.Методика проведения опытов

Опытам предшествует заполнение установки водой. Для этой цели лучше всего пользоваться чистым конденсатом. Заполнение следует производить медленно – так , чтобы в системе не оставалось воздуха.

Пуск установки производится в следующем порядке. Переливной сосуд устанавливается в верхнее положение, затем включается в действие насос и открывается вентиль. Включается ток в нагреватель и производится прогрев воды в баках. Так как установка сообщается с атмосферой, то температуру воды не следует поднимать выше 90С. Когда температура воды в баках достигает нужного уровня, можно включать в действие теплообменник. Проверив предварительно нулевое положение уровней жидкости в дифференциальных манометрах, пускают охлаждающую воду в теплообменник и холодильнички, затем, открыв зажим, медленно опускают сосуд. При этом через теплообменник начнет циркулировать горячая вода. Сосуд закрепляют в положении, отвечающем определенному расходу горячей воды. Мощность нагревателя регулируется так, чтобы температура горячей воды на входе в теплообменник оставалась неизменной.

Чтобы установить зависимости для  $Nu$  и  $Re$ , достаточно измерять расход и разность температур горячей воды на входе и выходе , температуры горячей воды на входе, температуру стенки в различных точках по длине и перепад давлений по дифференциальному манометру. Однако для контроля желательно одновременно измерять расход и разность температур охлаждающей воды, что позволит вычислить расход тепла со стороны горячей и стороны охлаждающей воды; поставление полученных величин позволяет проверить правильность измерений.

Измерения можно начинать лишь после того, как установиться стационарный тепловой режим. О наступлении стационарного режима свидетельствует постоянство во времени температуры жидкости на входе и разности температуры на входе и выходе. При данном режиме работы

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

производится не менее трех отсчетов показаний приборов с промежутком между отсчетами в 10 -15 мин. В качестве окончательных значений измеренных величин принимаются их средние арифметические значения.

Последовательность проведения опытов зависит от принятой программы работы. Обычно при заданном положении трубы и определенной температуре горячей воды на входе производится серия опытов при различных расходах горячей воды. Затем проводятся аналогичные серии опытов при других температурах на входе и других положениях трубы. Опытам по теплоотдаче и гидравлическому сопротивлению при неизотермическом течении следует предпослать измерения гидравлического сопротивления в изотермических условиях.

## 7. Обработка результатов

Рассмотрим в качестве примера методику эксперимента, предназначенную для изучения коэффициента теплоотдачи в зависимости от различных параметров теплоносителя и изменения мощности ТЭНП при движении воды в трубе в условиях охлаждения в области чисел Рейнольдса до 2300.

Опытные данные по теплоотдаче обрабатывается на основе уравнений:

$$Nu = 0,15 Re^{0,33} Gr^{0,43} Pr^{0,1} \left( \frac{Pr_{\text{ж}}}{Pr_{\text{с}}} \right)^{0,25} \varepsilon_l$$

$$Re = \frac{w \cdot d_{\text{эк}}}{\nu}$$

$$Gr = \frac{g \cdot d_{\text{эк}}^3 \cdot \beta \cdot (T_{\text{ст}} - T_{\text{ж}})}{\nu^2}$$

$$Pr = \frac{\nu \cdot \rho \cdot C_p}{\lambda_{\text{ж}}}$$

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d_{\text{эк}}}{\lambda_{\text{ж}}}$$

Где  $w$  - скорость теплоносителя,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

$d_{\text{эк}}$  — эквивалентный диаметр, м

$\nu$  — коэффициент кинематической вязкости,  $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$

$C_p$  — теплоемкость,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

$\lambda_{\text{ж}}$  — коэффициент теплопроводности,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$

$\alpha$  — коэффициент теплоотдачи,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$

$\rho$  — плотность теплоносителя,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Коэффициент теплоотдачи определяется по формуле:

$$\alpha = \sqrt[1,43]{\frac{0,15 Re^{0,33} Re^{0,33} C^{0,43} Pr^{0,1} \lambda}{d_{\text{ЭК}}}}$$

Где

$$q_F = \alpha \cdot (T_{\text{СТ}} - T_{\text{Ж}}), \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$C = \frac{g \cdot d_{\text{ЭК}}^3 \cdot \beta \cdot q_F}{v^2}$$

Скорость теплоносителя на входе определяется по формуле:

$$W = \frac{Re \cdot v}{d_{\text{ЭК}}}, \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Температура теплоносителя во внутреннем канале 1 для любого сечения определяется выражением:

$$T_1(z) = T(z_{\text{ВХ}}) + \frac{q_l}{G c_p} (z - z_{\text{ВХ}}) + \frac{k \Pi_{\text{тепл}}}{G c_p} \Delta T_T (z - z_{\text{ВЫХ}}) - \frac{k \Pi_{\text{тепл}} q_l}{G^2 c_p^2} \left( \frac{(z - z_{\text{ВХ}})^2}{2} \right)$$

Температура теплоносителя в канале 2 для того же сечения

$$T_2(z) = T_{\text{ВЫХ}} + \frac{k \Pi_{\text{тепл}}}{G c_p} \Delta T_T (z - z_{\text{ВЫХ}}) - \frac{k \Pi_{\text{тепл}} q_l}{G^2 c_p^2} \left( \frac{(z - z_{\text{ВХ}})^2}{2} \right)$$



## 8. Автоматизация производственных процессов

### 8.1 Описание системы контроля температуры, расхода и давления теплообменного аппарата

Структурная схема контроля температуры, расхода и давления установки для исследования параметров трубки Фильда показана на рисунке 13.

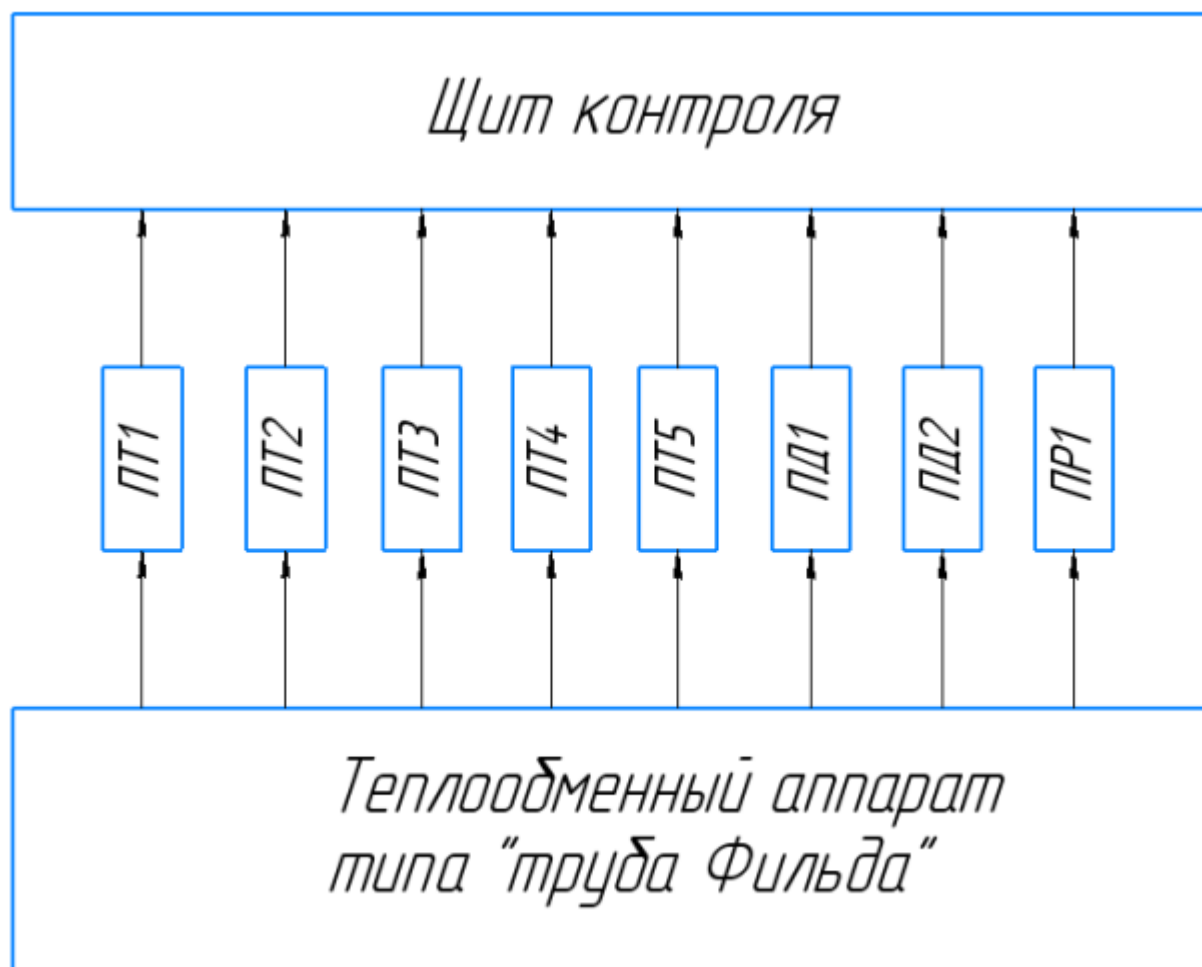


Рисунок 14 – Структурная схема системы контроля температуры, расхода и давления установки для исследования параметров трубки Фильда  
ПТ1-ПТ5 – преобразователи температуры, ПД1-ПД2 – преобразователи давления, ПР1 – преобразователь расхода.

Целью автоматического регулирования является поддержка постоянной температуры в установке при помощи поддержания постоянного давления и расхода. Постоянство температуры необходимо для выполнения граничных условий эксперимента, а так же снижения погрешностей измерений.

Сигналы от преобразователей разности давлений, преобразователей температуры и датчика расхода теплоносителя поступают в БЩУ. Далее оператор следит за показаниями приборов.

## **8.2 Выбор технических средств для реализации систем контроля**

### **8.2.1. Средства измерения**

Манометры – приборы для измерения избыточного давления в диапазоне от 0,06 до 1000 МПа, а также разности давлений до 630 кПа. Принцип действия манометра основан на уравнивании измеряемого давления силой упругой деформации трубчатой пружины или более чувствительной двухпластинчатой мембраны, один конец которой запаян в держатель, а другой через тягу связан с трибно-секторным механизмом, преобразующим линейное перемещение упругого чувствительного элемента в круговое движение показывающей стрелки.

По назначениям манометры можно разделить на технические - общетехнические, электроконтактные (глицеринозаполненные) и эталонные (образцовые).

Общетехнические: предназначены для измерения не агрессивных к сплавам меди жидкостей, газов и паров. Электроконтактные: имеют возможность регулировки измеряемой среды, благодаря наличию электроконтактного механизма.

Специальные: кислородные - должны быть обезжирены, так как иногда даже незначительное загрязнение механизма при контакте с чистым кислородом может привести к взрыву. Часто выпускаются в корпусах голубого цвета с обозначением на циферблате O<sub>2</sub> (кислород); ацетиленовые - не допускают в изготовлении измерительного механизма сплавов меди, так как при контакте с ацетиленом существует опасность образования взрывоопасной ацетиленистой меди; аммиачные-должны быть коррозиестойкими.

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Эталонные: обладая более высоким классом точности (0,15;0,25;0,4) эти приборы служат для поверки других манометров. Устанавливаются такие приборы в большинстве случаев на грузопоршневых манометрах или каких либо других установках способных развивать нужное давление.

Самопишущие: манометры в корпусе, с механизмом позволяющим воспроизводить на диаграммной бумаге график работы манометра. Для измерения давления 0,315 мпа на линии подачи сетевой воды и давления 0,25 мпа на линии слива дренажа общетехнические манометры типа мп4-уу2 с верхним пределом измерения 0,4 мпа.

### 8.2.2. Средства измерения расхода

Для измерения расхода в установке для исследования параметров трубки Фильда выбран счетчик воды. Счетчиком воды называется конструкция, измеряющая количество объема проходящего по водопроводу потока за единицу времени. Измерения считаются в м3. С помощью прибора наблюдатель может видеть, какое именно количество теплоносителя расходуется.

Современные водосчетчики делятся на: - тахометрические – принцип работы которых основан на подсчете количества вращений крыльчатого элемента. Крыльчатка заключается внутри и вращается от потока воды, при этом в защищенной от потоков части находится прибор, отвечающий за точность показаний.

- вихревые – конструкция, функционал которой заключен в том, что система водопровода создает вихри, частота которых пропорциональна скорости течения жидкости. Именно на этом основаны исчисления оборудования.

-магнитные – магнитное поле индуцируется со скоростью, пропорциональной силе поступающего потока.

- ультразвуковые. Преобразователи измеряют расходы воды путем анализа акустического эффекта колебаний ультразвука, возникающего при протекании потока жидкости через водомер.

Также водосчетчики делятся по количеству трубопроводов, которые могут обслужить:

1. Одноканальные;
2. Двухканальные;
3. Многоканальные.

Выбран счетчик воды типа Норма СВКМ-15 с диапазоном рабочих температур от 5 до 30°C. Диапазон измерений расхода от 0,06 до 3 м3/ч. Метрологический класс: класс А.

### 8.2.3. Средства измерения температуры

В качестве первичных преобразователей температуры используют термопреобразователи сопротивления (ТПС) и термоэлектрические преобразователи (ТЭП). Термопреобразователи выпускаются в двух видах: поверхностные и погружаемые. В настоящее время выпуск стандартных термопреобразователей освоен промышленной группой «Метран», заводом «Эталон» и другими предприятиями. Номинальное значение температуры теплоносителя (воды) составляет °С.

Для измерения температуры могут быть использованы термоэлектрические преобразователи (ТЭП) или термопреобразователи сопротивления (ТПС), имеющие выходной сигнал в виде ТЭДС (для ТЭП) и сопротивления (для ТПС) или унифицированный выходной токовый сигнал (0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА).

Выбор ТЭП произведен согласно таблице 3 [1].

Таблица 3 – Технические характеристики термоэлектрических преобразователей

Тип	Класс допуска	НСХ	Пределы измерений, °С		Условное давление, МПа	Материал защитной арматуры	Длина монтажной части, мм	Область применения	Завод-изготовитель
			нижний	верхний					
ТХА Метран-201*-01 ТХК Метран-202*-01	2	K L	-40 -40	800(1000) 600	0,4; 6,3	12Х18Н10Т, ХН78Т	60...3150	Газообразные и жидкие среды	ПГ «Метран», г. Челябинск
ТХА Метран-231-06	2	K	-40	1000	0,4; 6,3	12Х18Н10Т, ХН78Т	280, 320, 420	Газообразные среды, продукты сгорания	
ТХА Метран-231*-04 ТХК Метран-232*-04	2	K L	0 0	800(900) 600	0,4(-0,4); 6,3(-0,5)	12Х18Н10Т, ХН45Ю	250...1000	Продукты сгорания жидкого (газообразного) топлива	
ТХА Метран-231*-01 ТХК Метран-232*-01	2	K L	0 0	600	60(-12); 25,5(-10)	12Х1МФ	80...200	Перегретый пар	
ТХК Метран-232*-14	2	L	0	400	—	12Х18Н10Т	320...1600	Поверхности твердых тел	
ТХА Метран-241-01 ТХК Метран-242-01	2	K L	-40 -40	200 400	—	Латунь Л63; 12Х18Н10Т	10...1600	Поверхности твердых тел, подшипники	
ТПП Метран-211-01	2	S	0	1300	0,4	Корунд КВ1Т	320...2000	Газовые среды	
ТХАУ-205 ТХАУ-205-Ex ТХКУ-205 ТХКУ-205-Ex	±0,5 %; ±1,0 %; ±1,5 %	K(4...20 мА) L(4...20 мА)	0	400...1200 400...600	0,1; 6,3	12Х18Н10Т	60...1600	Нейтральные и агрессивные среды	
ТПП-0192 ТПП-0192 ТПП-0292	2	S B B	0 +600 +600	+1300 +1600 +1600	0,4	Корунд	320...2000	Окислительные и нейтральные среды	
ТХА 9312 ТХК 9312	2 2	K L	-40 -40	+900 +600	0,4...6,3	08Х20Н14С2 12Х18Н10Т	120...2000	Газообразные и жидкие среды	
ТПП2 821 004 ТПП2 821 005 ТПП2 821 006	2	S B B	0 +300 +300	+1300 +1600 +1600	0,4	Корунд с добавкой двуокиси титана	200...2000	Окислительные и нейтральные газовые среды	

\* — Количество чувствительных элементов: 1 или 2

\* – Количество чувствительных элементов 1 или 2

Для измерения температуры принят ТЭП типа ТХА Метран-201-01. Показания от термопар идут сначала на малогабаритный галетный переключатель поворотного типа ПГ2-12-6П8НВК, затем, после выбора термопары с помощью переключателя, сигнал поступает на мультиметр цифровой прецизионный, 2 канала, IT-8-RUT.

### 8.3 Проектирование функциональной схемы

Функциональная схема представляет собой технический документ, который определяет функционально-блочную структуру систем контроля технологического процесса.

В ходе разработки функциональной схемы системы контроля решены следующие задачи:

1. Определение управляющего воздействия на технологический процесс;
2. Контроль параметров технологических процессов и состояния оборудования;
3. Получение основной информации о технологическом процессе и объекте управления.

Эти задачи решены на основе анализа условий работы технологического оборудования, критериев и законов управления объектом, требований, предъявляемых к точности контроля и регистрации, а также качеству регулирования.

Функциональная схема разработана с учетом структурной схемы.

Сигналы по температуре теплоносителя формируются преобразователями температуры 1а-5а и подаются на галетный переключатель 9а, с помощью которого выбирается требуемый термоэлектрический преобразователь, сигнал от которого идет на мультиметр 10а. Давление на входе и выходе трубопровода измеряется манометрами 6а, 7а, установленными по месту. Расход теплоносителя на входе в трубопровод измеряется водосчетчиком 8а по месту.

## 9. Финансовый менеджмент

Данный раздел нацелен на оценку экономических показателей проекта. Для этого будут выполнены задачи, такие как: выявление плюсов и потенциала установки для исследования параметров трубы Фильда посредством SWOT анализ, расчет затрат на реализацию проекта.

Основным критерием подготовленности будущих кадров является их знакомство не только с теоритической частью образовательной программы, но и с практической. Для обеспечения безопасной эксплуатации установки для исследования параметров трубки Фильда необходимо исключить уже на стадии проектирования все возможные потенциальные угрозы, например, изолировать все токоведущие части или предотвратить контакт с нагревателем, в нашем случае – ТЭН. Спроектированная и собранная установка вполне может быть использована для исследования различных параметров теплообмена.

### 9.1 Планирование работ

Планирование работ позволяет распределить обязанности между членами рабочей группы, рассчитать заработную плату сотрудников, а также гарантирует реализацию проекта в срок. В данном проекте рабочая группа состоит из двух человек: руководитель проекта и проектировщик. Описание работы, их длительность, а также ответственный исполнитель по этой работе приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Наименование работ и их длительность

Шифр	Наименование	Работник	Длительность, ч
1	Выдача задания	Руководитель, Инженер	1
2	Обзор литературы	Инженер	28
3	Изучение теплообменного аппарата типа труба Фильда	Инженер	15

Продолжение таблицы 4

4	Написание обзора литературы	Инженер	52
5	Создание чертежа принципиальной схемы установки	Инженер	5
6	Согласование принципиальной схемы	Руководитель, инженер	2
7	Поверочный расчет	Инженер	6
8	Разработка сборочного чертежа	Инженер	49
9	Согласование сборочного чертежа	Руководитель, инженер	2
10	Разработка детализовки	Инженер	32
11	Согласование детализовки	Руководитель, инженер	2
12	Разработка компоновочного чертежа	Инженер	41
13	Согласование компоновочного чертежа	Руководитель, инженер	2
14	Покупка и доставка комплектующих и необходимых материалов	Инженер	10
15	Сбор и монтаж установки	Инженер	45
16	Проведение эксперимента	Инженер	2
17	Обработка результатов эксперимента	Инженер	2
18	Оформление основной части пояснительной записки ВКР	Инженер	6
19	Получение задания по спецразделам	Инженер	3
20	Написание и оформление раздела «Соц. ответственность»	Инженер	38
21	Написание и оформление раздела «Фин. менеджмент»	Инженер	36
22	Написание и оформление раздела «АСУ»	Инженер	28
23	Исправление ошибок в пояснительной записке ВКР и ее итоговое оформление	Инженер	26
	Итог	Руководитель	9
		Инженер	433



## 9.2 Расчет бюджета затрат на реализацию проекта и проектирование

В данном подразделе рассчитаны затраты на монтаж и стоимость самих конструкций, а также составлена смета расходов на выполнение договора.

### 9.2.1 Смета на комплектующие для экспериментальной установки и необходимые материалы

Представим состав конструкций для дальнейшего расчета в таблице 5.

Таблица 5 – Состав конструкции теплообменного аппарата

Наименование	Количество , длина	Поставщик	Цена единицы (за метр), руб.
ГОСТ 9941-81 Труба 48x4	1 м.	ОАО «НКМК»	2550
ГОСТ 9941-81 Труба 25x2,5	0,2 м.	ОАО «НКМК»	750
ГОСТ 9941-81 Труба 33,7x3,2	1 м.	ОАО «НКМК»	1350
ТЭНП-80В16/1,2J220	1 ед.	Fuwell International Pte Ltd.	1540
ТПК 01.20 - 022 - АЗ - И2 - К795 - 20 - 25/20	6 ед.	Fuwell International Pte Ltd.	100
ГОСТ 15527-2004 Тройник ЛС59-1	2 ед.	«НКМК» ОАО	117
ГОСТ 15527-2004 Штуцер ЛС59-1	2 ед.	«НКМК» ОАО	49

Расчет затрат на основные материалы вычислены по формуле:

$$M = (M_T \cdot C_T + M_{ТЭН} \cdot C_{ТЭН} + M_{ТП} \cdot C_{ТП} + M_{ар} \cdot C_{ар}) K_3$$

где:

$M_T$  – длина трубопровода, м;

$C_T$  – цена за метр трубопровода, р;

$M_{ар}$  – количество арматуры, ед.;

$\Pi_{ар}$  – цена за единицу арматуры, р;

$M_{тэп}$  – количество ТЭНП, ед.;

$\Pi_{тэп}$  – цена за единицу ТЭНП, р;

$M_{тп}$  – количество термопар, ед.;

$\Pi_{тп}$  – цена за единицу термопары, р;

$K_3$  - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы на доставку, погрузку. Принимаем  $K_3 = 1,1$ .

Таким образом, затраты на основные материалы:

$$M = ((2550) + (0,2.750) + (1350) + (1540) + (600) + (2.117) + (2.49)) \cdot 1,1 = 7174,2 \text{ р.}$$

### 9.2.2 Затраты на заработную плату

Вычислим основные расходы на заработную плату работников проекта с учетом районного коэффициента, равного 1,3:

$$ЗП_{рук} = 26300 \cdot 1,3 \cdot \frac{9}{6.26} = 1972,6 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{ас} = 17000 \cdot 1,3 \cdot \frac{433}{8.21} = 56960,1 \text{ руб.}$$

Итог фонда основной заработной платы:

$$ЗП_{осн} = ЗП_{рук} + ЗП_{ас} = 1972,5 + 56960,1 = 58932,6 \text{ руб}$$

Вычислим полные расходы на оплату труда, включающие дополнительные затраты, которые составляют 12% от фонда основной заработной платы:

$$ЗП_{п} = 1612 \cdot ЗП_{осн} = 1,12 \cdot 58932,6 = 66004,5 \text{ руб.}$$

### 9.2.3 Затраты на социальные отчисления

Вычислим размер начислений по оплате труда:

$$\text{ВнФ} = (\text{ФСС} + \text{ПФР} + \text{ФФОМС}) \cdot \text{ЗП}_\Pi = 0,3.66004,5 = 19801,4 \text{ руб.}$$

где взносы

- в фонд социального страхования ФСС=2,9%;
- в фонд пенсионного страхования ПФР=22%;
- в фонд обязательного медицинского страхования ФФОМС=5,1%.

Оплата труда с начислениями:

$$\text{ЗП}_\Pi = \text{ЗП}_\Pi + \text{ВнФ} = 66004,5 + 19801,4 = 85805,9 \text{ руб.}$$

### 9.2.4 Амортизация оборудования

В данном пункте будет рассчитана амортизация ноутбука, необходимого в работе над проектом.

Срок эксплуатации ноутбука составляет 3 года. Отсюда следует, что норма амортизации за год равна:

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\%;$$

$$K = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,3\%;$$

где  $n$  – срок полезного использования в годах.

Найдем амортизацию:

$$A = \frac{K \cdot \text{И}}{12.30} \cdot t, \text{ руб}$$

$$A = \frac{0,333.60}{12.30} \cdot 57 = 3163,5 \text{ руб}$$

где  $\text{И}$  – итоговая сумма в тыс. руб.;  $t$  – время использования в днях.

### 9.2.5 Итоговая стоимость проекта экспериментальной установки

Накладные расходы принимаем в размере 16% от суммарных расходов.

Таблица 6 – смета итоговых расходов

Статья расхода	Стоимость, руб.	%
Комплекующие для лабораторной установки и необходимые материалы	8250	7,32
Заработная плата	66004,5	58,53
Отчисления на социальные цели	19801,4	17,56
Амортизационные отчисления	3163,5	2,8
Накладные расходы	15555,1	13,79
Итого	112774,5	100

Таким образом, итоговая стоимость проекта составляет 112774,5 руб.

Основной бюджет затрат составляет заработная плата – 58,53%, самый малый процент занимает амортизация – 2,8%.

### 9.3 Оценка потенциала проекта

Для оценки положительных и отрицательных сторон произведен комплексный SWOT-анализ.

Анализ представляет собой универсальную методику стратегического менеджмента и позволяет несложным образом оценить эффективность технического решения ВКР. SWOT-анализ проводится в несколько этапов:

1. Описание сильных и слабых сторон конструкций, выявление сложностей в реализации. Результаты представляются в виде таблицы;
2. Выявление слабых и сильных сторон конструкций перед внешними условиями;
3. По результатам выполненных этапов составляется итоговая матрица, позволяющая произвести сравнительный анализ расчетных конструкций.

А. Первый этап. Результаты первого этапа SWOT-анализа установки представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты первого этапа SWOT-анализа теплообменного аппарата.

<b>Сильные стороны конструкции:</b> С1. Простота; С2. Надежность; С3. Новизна в учебном плане; С4. Дешевизна деталей.	<b>Слабые стороны конструкции:</b> Сл1. Большое количество сварных швов; Сл2. Не компьютеризированный процесс проведения испытаний.
<b>Возможности:</b> В1. Появление новых методических указаний; В2. Снижение стоимости на материалы установки.	<b>Угрозы:</b> У1. Трудоемкий процесс изготовления запасных деталей; У2. Возможное ухудшение параметров в ходе эксплуатации.

Б. Второй этап.

Результаты второго этапа SWOT-анализа установки представлены в таблице 8.

Основные условные обозначения:

«0» - отсутствие соответствий;

«+» - сильное соответствие;

«-» - слабое соответствие.

Таблица 8 – Интерактивная матрица SWOT-анализа теплообменного аппарата

Сильные стороны						Слабые стороны	
Возможности		C1	C2	C3	C4	Сл1	Сл2
	B1	+		+		0	0
	B2	+	+		+	0	0
Угрозы	Y1	0	0	0	0	-	-
	Y2	0	0	0	0	-	-

В. Третий этап.

Результаты третьего этапа SWOT-анализа установки представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Итоговая матрица SWOT-анализа теплообменного аппарата

	<b>Сильные стороны установки:</b> С1.Простота; С2.Надежность; С3.Новизна в учебном плане; С4.Дешевизна деталей.	<b>Слабые стороны установки:</b> Сл1. Большое количество сварных швов; Сл2. Не компьютеризированный процесс проведения испытаний.
<b>Возможности:</b> В1. Появление новых Методических указаний; В2. Снижение стоимости на материалы установки.	В1С1: процесс изучения установки и освоение работы на ней не будет занимать много времени; В1С3: расширение учебной программы; В2С1: усовершенствование установки в будущем, поиск новых исследований; В2С2: неизменная надежность при усовершенствовании составных частей установки.	В1Сл2:более современное и актуальное обучение при введении ЭВМ. В2Сл2: при введении компьютеров можно перенести все физические процессы в ЭВМ, что значительно удешевит стоимость установки и позволит серийное использование.
<b>Угрозы:</b> У1. Трудоемкий процесс изготовления запасных деталей; У2. Возможное ухудшение параметров в ходе эксплуатации.	У2С1: из-за простоты установки не составит больших трудностей заменить детали на новые, что улучшит параметры. У2С4: детали легко приобрести и повысить параметры.	У1Сл1: при поломке сборки некоторых частей потребует дополнительных сил и рабочих; У2Сл2: при замене составных частей потребуется затратить дополнительное время и силы.

## Оценка результатов

По итогам данного раздела был произведен анализ установки для исследования параметров трубки Фильда. Выявили как положительные, так и отрицательные стороны теплообменного аппарата. Исправление некоторых слабых сторон может привести к уменьшению положительных, однако они не настолько существенны, чтобы их исправлять. Однако существенный прирост к полезности установки может дать использование ЭВМ, путем компьютеризирования процесса проведения лабораторных работ или переноса его в специальную программу, полностью исключая физическую работу с установкой, что не очень положительно скажется на компетенции будущего инженера.

Положительные стороны можно улучшить, но для этого потребуется трудоемкий и энергозатратный процесс, который проявляется в огромном количестве затрачиваемого времени и в использовании большего количества человеческих ресурсов. В результате чего делаем вывод, что установка имеет оптимальные параметры с несущественными минусами и с внушительными положительными сторонами.



## 10. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целью данной дипломной работы является проектирование и создание установки для изучения явления теплоотдачи в кольцевом зазоре объекта исследования, коим является теплообменный аппарат, выполненный по типу «трубка в трубке». Данная установка представляет из себя две стеклянные трубки, выполненные одна внутри другой. Благодаря такой конструкции образуется кольцевой канал между внутренней стенкой внешней трубки и внешней стенкой внутренней трубки. С помощью такой установки есть возможность наблюдения за течением жидкого теплоносителя в каналах теплообменного аппарата, изучения процесса теплообмена в трубках, ведения расчета режимных параметров и др.

### 10.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

#### 10.1.1 Влияние шума на организм человека

Шум – сочетание беспорядочных по силе и частоте звуков.

Шум оказывает на организм человека неблагоприятное воздействие и может вызвать различного рода болезненные состояния, в том числе тугоухость и глухоту. Под влиянием шума учащаются пульс и дыхание, повышается расход энергии. Длительное воздействие шума оказывает вредное влияние на ЦНС и психику человека. В результате воздействия шума у человека появляются симптомы переутомления и истощения нервной системы. Со стороны психики наблюдается подавленное настроение, понижение внимания, задерживаются интеллектуальные процессы, повышается нервная возбудимость. Шум снижает работоспособность и производительность труда, препятствует нормальному отдыху и нарушает сон.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» в помещениях лабораторий для проведения экспериментальных работ уровень шума не должен превышать 75 дБА.

					ФЮРА.XXXXXXX.001.ПЗ	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Методы защиты от шума подразделяются на методы коллективной защиты и средства индивидуальной защиты.

К методам коллективной защиты относятся:

1.Акустические (звукоизолирующие кожухи, кабины, акустические экраны, выгородки, звукопоглощающие облицовки, объемные поглотители звука).

2.Архитектурно-планировочные (создание шумозащищенных зон, рациональное размещение оборудования рабочих мест, рациональные акустические решения планировок зданий и генеральных планов объектов).

3.Организационно-технические (оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля, применение малошумных технологических процессов и машин, использование рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях ). К средствам индивидуальной защиты относятся: наушники, беруши, антитоны.

### 10.1.2 Влияние вибрации на организм человека

Вибрация представляет собой механическое колебательное движение тех или иных поверхностей, простейшим примером которых является синусоидальное колебание.

Воздействие вибрации на человека вызывает нарушения физиологического и функционального состояния организма человека. Изменения в функциональном состоянии организма проявляются в нарушении вестибулярных реакций, нарушении координации движений, повышенной утомляемости, увеличении времени зрительной и двигательной реакции. Это приводит к понижению производительности. Проявление изменений в физиологическом состоянии организма заключается в нарушениях функций опорно-двигательного аппарата, нарушениях функций сердечно-сосудистой системы, развитии нервных заболеваний, нарушении функций органов

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

внутренней секреции, поражении мышечных тканей и суставов. Как следствие, это приводит к возникновению вибрационной болезни.

Согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» проведем классификацию возникающих вибраций:

1. По способу передачи на человека: общая. Это связано с тем, что вибрация передается через опорные поверхности (пол, либо стол, на котором установлено оборудование) на стоящего или сидящего человека;

2. По источнику возникновения вибраций: общая третьей категории тип В. Воздействие на человека происходит через рабочие места, не имеющие источников вибрации в помещении лаборатории. В данном случае источниками вибрации являются насосные агрегаты и электродвигатели;

3. По временным характеристикам: непостоянная. Насосные агрегаты и электродвигатели работают определенное время, которое необходимо для создания вакуума, либо для проведения эксперимента.

В таблице 3 представлены допустимые значения вибраций для рабочих мест 3 категории.

Таблица 10 – Предельно допустимые вибрации

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X,Y,Z							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с <sup>2</sup>		дБ		10 <sup>-2</sup> , м/с <sup>2</sup>		дБ	
	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт
1,6	0,0130		82		0,130		88	
2,0	0,0110	0,02	81	86	0,089	0,180	85	91
2,5	0,0100		80		0,063		82	
4,0	0,0079	0,014	78	83	0,032	0,063	76	82
5,0	0,0079		78		0,025		74	
8,0	0,0079	0,014	78	83	0,016	0,032	70	76
10,0	0,0100		80		0,016		70	
16,0	0,0160	0,028	84	89	0,016	0,028	70	75
20,0	0,0200		86		0,016		70	
40,0	0,0400		92		0,016		70	
63,0	0,0790	0,110	96	101	0,016	0,028	70	75
80,0	0,0630		98		0,016		70	

Защита от вибрации включает в себя организационные и технические.

К организационным мероприятиям относится ограничение времени воздействия вибрации на человека. Из-за особенностей установки, используемые нагнетающие устройства работают только в период проведения эксперимента, вибрация в данном случае является не постоянной и прерывистой.

К техническим мерам защиты относятся:

1.Снижение вибрации в источнике возникновения точной балансировкой вращающихся частей и изменением резонансной частоты системы при плановых ремонтах оборудования;

2.Виброизоляция – применение резиновых виброизоляторов при монтаже оборудования.

В качестве средств индивидуальной защиты от вибрации для рук и ног используются защитные перчатки, рукавицы, прокладки, вкладыши, защитная обувь, стельки и подметки.

Расчет шума приведен в приложении 1.

## 10.2 Освещение рабочего места

Рационально выполненное и правильно спроектированное освещение производственных помещений оказывает положительные психофизиологические воздействия на трудящихся, а также благоприятно влияет на повышение эффективности и безопасности труда, способствует сохранению высокой работоспособности и снижению утомления и травматизма.

Недостаточность освещенности приводит к напряжению органов зрения, ослабляет внимание, что приводит к преждевременной утомляемости. Избыток освещенности вызывает ощущение рези в глазах и ослеплению. Неправильное направление света на рабочем месте дезориентирует рабочего.

Расчет освещенности рабочего места проводится посредством выбора системы освещения и определения достаточного количества светильников, а

						Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

также их размещения. Опираясь на это, можно рассчитать параметр искусственного освещения. В СП 52.13330.2011 изложены основные требования и значения нормируемой освещённости рабочих поверхностей.

Таблица 11. Нормы освещённости на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении

Характеристики зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		
						Освещенность, лк.		
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения
						Всего	В том числе от общего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Высокой точности	0,3	III	Б	Средний	Средний	1000	200	300

Наиболее часто в искусственном освещении применяется два вида электрических источников света: лампы накаливания и люминесцентные лампы.

Лампы делятся по составу видимого спектра на лампы:

- 1.Белого света (ЛБ);
- 2.Холодного белого света (ЛХБ);
- 3.Теплого белого света (ЛТБ);
- 4.Дневного света (ЛД);
- 5.Дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ).

Лампы белого света получили наибольшее распространение. Самыми распространенными светильниками с люминесцентными лампами являются открытые двухламповые светильники типа ОД, ОДОР, ШОД, ОДО.

Открытые двухламповые светильники типа ОД, ОДОР, ШОД, ОДО, ООД являются наиболее распространёнными типами светильников для люминесцентных ламп (допускаются при умеренной влажности и запылённости, для нормальных помещений с хорошим отражением потолка и стен).

Расчет освещения лаборатории приведен в приложении 1.

### 10.3 Микроклимат

Согласно СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений», для создания нормальных условий труда в производственных помещениях необходимо обеспечить в помещении оптимальные и допустимые микроклиматические условия.

Оптимальные микроклиматические условия – это группа количественных показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека способствуют сохранению нормального теплового состояния организма без напряжения механизмов терморегуляции. Они создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и обеспечивают ощущение теплового комфорта.

Допустимые микроклиматические условия – это группа количественных показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека вызывают непостоянные и быстро нормализующиеся изменения теплового состояния организма человека. Данный процесс сопровождающиеся напряжением механизмов терморегуляции не выходящих за пределы физиологических приспособительных возможностей. Повреждения или нарушения состояния здоровья при этом не возникает, но могут наблюдаться дискомфортные теплоощущения, понижение работоспособности и ухудшение самочувствия.

Допустимые микроклиматические условия допускаются в случае, если оптимальные не могут быть достигнуты.

Таблица 12 - Оптимальные и допустимые показатели микроклимата производственных помещений

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> (не более)
50 и более	35
25-50	70
Не более 25	100

К показателям микроклимата относятся:

- интенсивность теплового излучения;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- температура воздуха.

Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма в ккал/ч. Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 работы лаборатории относятся к категории II-а по уровню энергозатрат.

Приведем в таблице 12 оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений для категории работ II-а.

Для людей на рабочих местах допустимые величины интенсивности теплового облучения от производственных источников, нагретых до темного свечения должны соответствовать значениям из таблицы 13.

Таблица 13. Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Оптимальные значения		
Холодный	19-21	40-60	0,2
Теплый	20-22	40-60	0,2
	Допустимые значения		
Холодный	15-28	20-80	0,2-0,5
Теплый	15-28	20-80	0,2-0,5

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.) не должны превышать 140 Вт/кв. м. При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Благоприятные параметры микроклимата в лабораторных помещениях достигаются за счет:

- Вентиляции и отопления;
- Применения средств индивидуальной защиты (применяются спецодежда, очки со светофильтрами, щитки из органического стекла);
- Организации защиты от тепловых излучений, которая способствует снижению температуры воздуха в помещении.



## 10.4 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производённой среды

### 10.4.1 Опасности механического характера

Механические опасности – нежелательные воздействия на человека, образовавшиеся в результате сил гравитации или кинетической энергии тел.

К источникам механических опасностей в помещении лаборатории относятся:

- Части механизмов оборудования, находящиеся в движении;
- Незакрепленное оборудование (материалы, инструменты и т.д.);
- Острые углы столов;
- Острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовки, инструмента или оборудования;
- Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли;
- Поверхности установки, находящиеся под высоким напряжением или температурой.

Существует два основных способа защиты персонала от механической опасности [3]:

- 1.Ограничение доступа к частям оборудования, которые представляют опасность;
- 2.Применение средств индивидуальной защиты (перчатки, каски, защитные очки, обувь).

Если взять во внимание мою установку, то по большей части применен первый пункт защиты персонала от механической опасности. Для этого используются металлические кожухи, которые ограничивают контакт с

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						73
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

теплообменником, а так же, используются стенд закрытого типа, который лимитирует случайные соприкосновения лаборанта и оборудования, находящееся в стенде.

#### 10.4.2 Электрическая безопасность

Требования электробезопасности изложены в Межотраслевых правилах по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок, правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей, ГОСТах и других нормативных правовых актах.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей зависит от:

- пути тока через тело человека;
- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- условий внешней среды;
- продолжительности воздействия электрического тока или электромагнитного поля на организм человека.

Основные причины несчастных случаев от воздействия электрического тока:

- появления напряжения на отключенных токоведущих частях вследствие ошибочного включения установки, на которых работают люди;
- случайное приближение или прикосновение на опасное расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования – кожухах, корпусах (в результате повреждения изоляции или других причин);

- возникновение шагового напряжения на поверхности земли в результате замыкания провода на землю.

По классификации по опасности поражения электрическим током в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» помещение лаборатории относится ко второму классу – помещения с повышенной опасностью. Это связано с наличием следующих опасных факторов:

- токопроводящих полов (железобетонных);

возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

Так же используются технические способы и средства обеспечения электробезопасности:

- изоляцию токоведущих частей;
- защитное заземление;
- трансформаторное разделение цепей;
- зануление;
- защитное отключение.

Средства индивидуальной защиты:

- диэлектрические галоши;
  - инструмент с электроизолированными ручками;
  - диэлектрические перчатки.
- Средства коллективной защиты:
- заземляющие устройства;
  - экранирующие устройства.

В производстве часто используют сети напряжением 12 В и 36 В. Для создания таких напряжений используют понижающие трансформаторы. Ещё

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

одним преимуществом использования сверхнизкого напряжения является отсутствие надобности в использовании защитного заземления.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов согласно ГОСТ 12.1.038-82 “Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность”, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 14.

Таблица 14. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

Род тока	$U$ , В	$I$ , мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Напряжения прикосновения и токи приведены при продолжительности воздействий не более 10 мин в сутки и установлены, исходя из реакции ощущения.

Сила тока лабораторной установки регулируется в пределах от 0 до 10А, напряжение 45 В. Источник постоянного тока подключен к трехфазной сети с напряжением 220В – 50 Гц. Лабораторные помещения относятся к помещениям повышенной опасности поражения людей электрическим током по причине наличия токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей технологическим аппаратам с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

В связи с этим работа на данной установке требует третьей группы допуска по электробезопасности.

### 10.4.3 Охрана окружающей среды

Экологическая безопасность - приемлемый уровень деструктивного влияния природных и антропогенных факторов экологических опасностей, которые представляют угрозу для окружающей среды и человека.

Проектирование и сборка установки в данной ВКР не имеет производственных масштабов, ее производство и эксплуатация не оказывает заметного влияния на окружающую среду. Возникающие в процессе производства деталей установки твердые бытовые отходы идут на хранение и утилизацию на специальных полигонах. Сама установка по окончании срока службы отправляется на переработку.

Единственным непрерывным отходом установки является проточная вода, омываемая межтрубное пространство теплообменника. Выходной штуцер установки через патрубок подключен к основному сливу сточных вод.

Люминесцентные лампы, а также стеклянные отходы сортируются и сдаются предприятиям: «ЭКОТОМ», ОАО «Полигон».

### 10.4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно системе стандартов безопасности труда тезисно можно заключить, что рабочее место при выполнении работ должно быть:

1. организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

2. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

3. Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля.

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Что же касается зон для выполнения ручных операций и размещения управления, то при проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать антропометрические показатели женщин (если работают только женщины) и мужчин (если работают только мужчины); если оборудование обслуживают женщины и мужчины - общие средние показатели женщин и мужчин.

Конструкцией производственного оборудования и рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием:

- высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног. Регулируемые параметры следует выбирать по номограмме, приведенной на рисунок 15;

- высоты сиденья и подставки для ног (при нерегулируемой высоте рабочей поверхности). В этом случае высоту рабочей поверхности устанавливают по номограмме (рисунок 15) для работающего ростом 1800 мм. Оптимальная рабочая поза для работающих более низкого роста достигается за счет увеличения высоты рабочего сиденья и подставки для ног на величину, равную разности между высотой рабочей поверхности для работающего ростом 1800 мм и высотой рабочей поверхности, оптимальной для роста данного работающего.

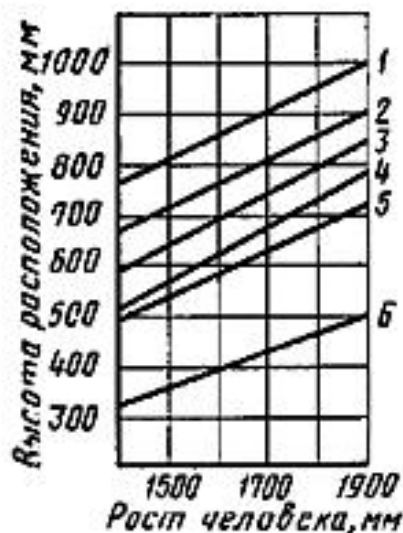


Рисунок 15 - Номограмма зависимости высоты рабочей поверхности для разных видов работ(1-4), пространства для ног (5) и высоты рабочего сиденья (6) от роста человека

Ссылаясь на госстандарт системы «Человек-машина» выделим главные положения, устанавливающие основные требования и взаимосвязь между человеком и рабочим местом(машиной) [18]:

#### ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

При взаимном расположении элементов рабочего места необходимо учитывать:

- рабочую позу человека-оператора;
- пространство для размещения человека-оператора;
- возможность обзора элементов рабочего места;
- возможность обзора пространства за пределами рабочего места;
- возможность ведения записей, размещения документации и материалов, используемых человеком-оператором.

Взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования. При этом должны учитываться ограничения, налагаемые спецодеждой и снаряжением человека-оператора.

Взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать необходимые зрительные и звуковые связи между оператором и оборудованием, а также между операторами.

При расположении элементов рабочего места должны быть предусмотрены необходимые средства защиты человека-оператора от воздействия опасных и вредных факторов, предусмотренных ГОСТ 12.0.003-74, а также условия для экстренного ухода человека-оператора с рабочего места.

Взаимное расположение элементов рабочего места должно способствовать оптимальному режиму труда и отдыха, снижению утомления оператора, предупреждению появления ошибочных действий.

Взаимное расположение пульта управления, кресла, органов управления и средств отображения информации должно производиться в соответствии с антропометрическими показателями, структурой деятельности, психофизиологическими и биомеханическими характеристиками человека-оператора.

#### ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ

При размещении органов управления необходимо выполнять следующие эргономические требования:

- органы управления должны располагаться в зоне досягаемости моторного поля;
- наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть расположены в зоне легкой досягаемости моторного поля;
- органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, должны группироваться таким образом, чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху вниз;
- расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места;
- расположение органов управления должно обеспечивать равномерность нагрузки обеих рук и ног человека-оператора.



Органы управления и функционально связанные с ними индикаторы необходимо располагать вблизи друг друга функциональными группами таким образом, чтобы орган управления или рука оператора при манипуляциях с ним не закрывала индикатора. При этом органы управления должны располагаться в соответствии с последовательностью действий, выполняемых оператором.

Органы управления, применяемые только для технического обслуживания и регулировки, должны размещаться отдельно от остальных органов управления или быть изолированными от человека-оператора на период выполнения им основной работы.

## ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Средства отображения информации необходимо группировать и располагать группы относительно друг друга в соответствии с последовательностью их использования или с функциональными связями элементов систем, которые они представляют. При этом средства отображения информации необходимо размещать в пределах групп так, чтобы последовательность их использования осуществлялась слева направо или сверху вниз.

Лицевые поверхности индикаторов следует располагать в оптимальной зоне информационного поля в плоскости, перпендикулярной нормальной линии взора оператора, находящегося в рабочей позе. Допускаемое отклонение от этой плоскости - не более  $45^\circ$ ; допускаемый угол отклонения линии взора от нормальной - не более  $25^\circ$  для стрелочных индикаторов и  $30^\circ$  для индикаторов с плоским изображением.

### 10.4.5 Социальное страхование

В единый корпоративный стандарт страхования ТПУ входят программы: добровольного медицинского страхования и негосударственного пенсионного обеспечения.

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						81
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

В основу единого социального стандарта национального исследовательского томского политехнического университета положен принцип - любой работник должен, с социальной точки зрения, обладать одинаковым набором или объемом социальных гарантий.

### ДОБРОВОЛЬНОЕ МЕДИЦИНСКОЕ СТРАХОВАНИЕ

Добровольное медицинское страхование распространяется на работников вуза. Этот расширенный перечень получателей страховых услуг является выражением принципиальной позиции руководства на расширение социальной защищенности работников.

Приоритетными задачами участия предприятия в добровольном медицинском страховании работников являются:

- повышение общей системы эффективности;
- повышение социальной защищенности работников;
- снижение временной нетрудоспособности работников.

При решении поставленных задач с помощью добровольного медицинского страхования должны соблюдаться следующие принципы:

- обеспечение доступности квалифицированной медицинской помощи вне зависимости от региона проживания и подразделения предприятия;
- обеспечение консультативной, профилактической, диагностической, лечебной и реабилитационно-восстановительной медицинской помощи;
- дифференциация Застрахованных по категориям.

### НЕГОСУДАРСТВЕННОЕ ПЕНСИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Договор негосударственного пенсионного обеспечения - соглашение между фондом и вкладчиком фонда, в соответствии с которым вкладчик обязуется уплачивать пенсионные взносы в фонд, а фонд обязуется выплачивать участнику (участникам) фонда негосударственную пенсию. Размер

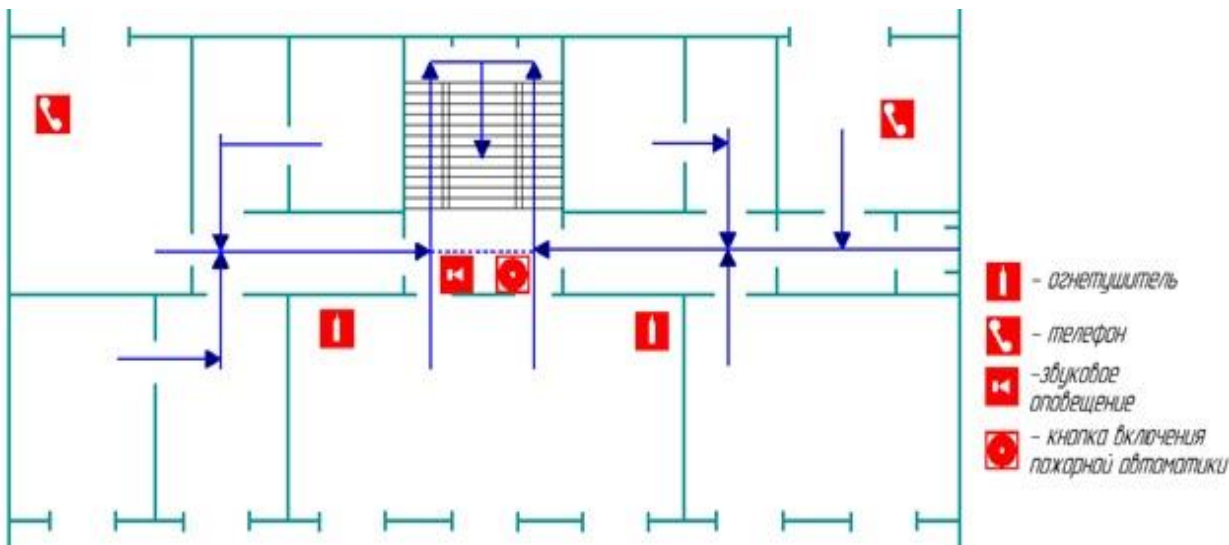
					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						82
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

негосударственной пенсии для работников определяется в зависимости от стажа работы и размера должностного оклада.

**10.4.6 Эвакуация при пожаре или ЧС**

Под эвакуацией при пожаре понимается вынужденное организованное самостоятельное движение людей непосредственно наружу или в безопасную зону при возникновении угрозы воздействия опасных факторов пожара. Эвакуацией также считается несамостоятельное перемещение людей, относящихся к маломобильным группам населения, при помощи обслуживающего персонала, пожарной охраны, в том числе с использованием спасательных средств и средств индивидуальной защиты.

План эвакуации из лаборатории, находящейся в четвертом корпусе ТПУ представлен на рисунке 16.



## Приложение А

### Расчет освещенности

Расположение источников света в помещении определяются следующими размерами:

$H$  – высота помещения;  $h_p$  – высота рабочей поверхности над полом;  $h_n$  – высота подвеса светильника(источника света) над полом;  $h_c$  – высота свеса источника света от перекрытия.

Внесем габариты лаборатории, в которой располагается установка – 8000 мм – длина лаборатории, 5000 мм – ширина, 3000 мм – высота.

$$h_p = 0,75 \text{ м};$$

$$h_n = H - h_c = 3 - 0,2 = 2,8 \text{ м};$$

$$h = h_n - h_p = 2,8 - 0,75 = 2,05 \text{ м} - \text{высота светильника над рабочей поверхностью.}$$

При равномерном размещении люминесцентных светильников последние располагаются обычно рядами – параллельно рядам оборудования.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda=L/h$ . Уменьшение этого критерия приводит к удорожанию обустройства и обслуживания освещения, а чрезмерное увеличение ведёт к неравномерности освещённости.

Для светильников люминесцентными лампами без защитной решетки типов ОД, ОДО  $\lambda=1,4$ .

Расстояние  $L$  между источниками света определим как:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,05 = 2,87 \text{ м};$$

Расстояние от крайнего ряда до стены составит:

$$l = L/3 = 2,87/3 = 0,955 \text{ м.}$$

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока. Это

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						84
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

коэффициент, который учитывает световой поток, отражённый от потолка и стен. Световой поток группы люминесцентных ламп определяется по формуле:

$$\Phi = (E_{\text{н}} \cdot S \cdot K \cdot Z) / (N \cdot \eta),$$

где  $E_{\text{н}} = 300$  лк (нормируемая минимальная освещенность по СП 52.13330.2011;  $S = A \cdot B = 8 \cdot 5 = 40$  м.кв. – площадь помещения;  $K$  – коэффициент запаса. Для помещения с малым выделением пыли  $K=1,5$ ;  $Z$  – коэффициент неравномерности, отношение  $E_{\text{ср}}/E_{\text{min}}$ . Для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ ;

$N$  – число ламп. Примем  $N=8$ ;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $p_{\text{с}}$  и потолка  $p_{\text{п}}$ .

Для лаборатории:  $p_{\text{с}} = 30\%$  – стены оклеены светлыми обоями;  $p_{\text{п}} = 50\%$  – потолок чистый бетонный.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = S / (h \cdot (A + B)) = 40 / (2,05 \cdot (8 + 5)) = 1,5.$$

Коэффициент использования светового потока светильника равен 52%.

Световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = (E_{\text{н}} \cdot S \cdot K \cdot Z) / (N \cdot \eta) = (300 \cdot 40 \cdot 1,5 \cdot 1,1) / (8 \cdot 0,52) = 4760 \text{ люмен.}$$

Выбираем светильник ОД-2-80 с лампой ЛБ 80:

- световой поток лампы 5200 лм;
- Количество ламп – 2;
- Мощность – 80 Вт;

Габариты светильника: длина – 1531 мм, ширина – 266 мм, высота – 198 мм.

					ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						85
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

Проведем проверку:

$$\frac{|\Phi_{\text{станд}} - \Phi_{\text{расч}}|}{\Phi_{\text{расч}}} \cdot 100\% \leq 10\%;$$

$$\frac{|5200 - 4760|}{5200} \cdot 100\% = 8,46\% \leq 10\%;$$

Условие выполняется.

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = P_0 \cdot N = 80 \cdot 8 = 640 \text{ Вт}$$

Выполним план размещения источников света и отобразим на рисунке 17.

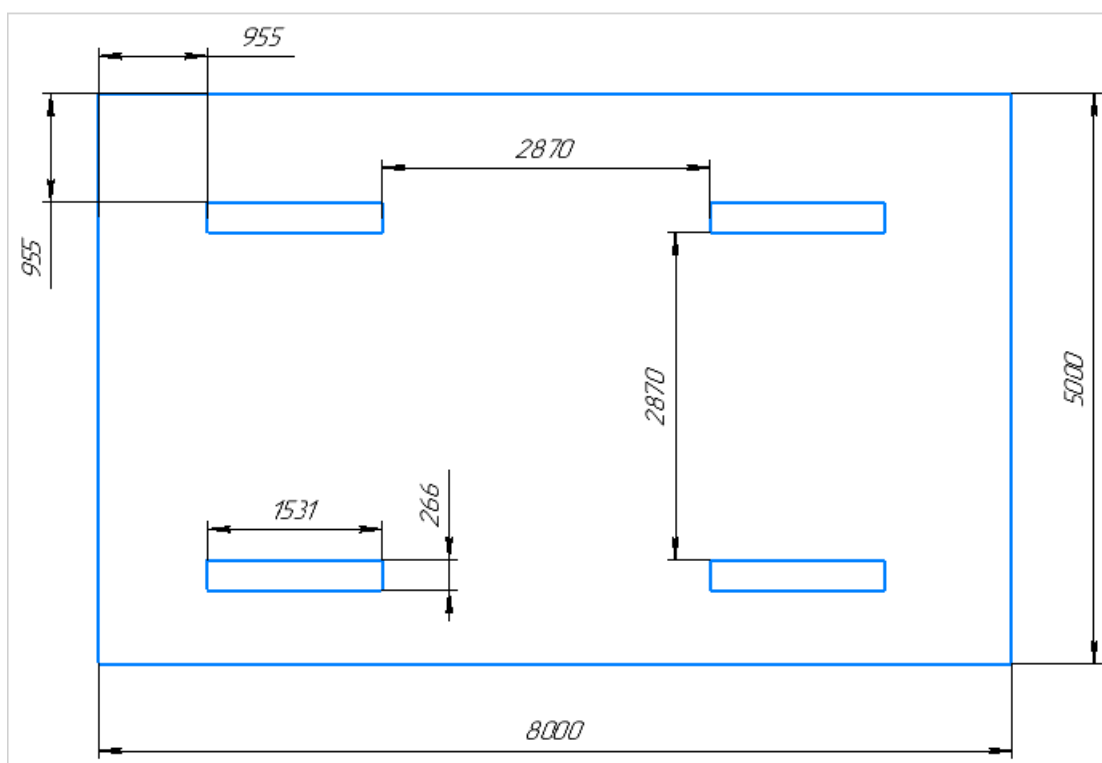


Рисунок А1 - План размещения светильников с люминесцентными лампами

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

ФЮРА.ХХХХХХ.001.ПЗ

Лист

86

## Приложение Б

### Расчет шума

Чтобы узнать соответствует ли уровень шума требованиям, проведем необходимые расчеты.

Основными источниками шума в лабораторной установке являются компрессор с ресивером для нагнетания воздуха и водяной центробежный насос. Приведем их уровни шума в таблице 1.

Таблица Б1. Уровни шума

№	Источник шума	Уровень шума, дБ
1	Компрессор	61
2	Насос	68

Основной характеристикой звукового поля является уровень его звукового давления  $N$ , который можно найти по формуле:

$$N = \frac{20 \lg p}{p_0},$$

где  $p$  – эффективное звуковое давление  $p_0 = 2 \cdot 10^{-4}$  Па – звуковое давление, принятое за нулевой уровень.

Вычисли эффективное звуковое давление  $p_i$ :

$$p_i = 10^{\frac{N_i}{20}} \cdot p_0,$$

где  $N_i$  и  $p_i$  – параметры  $i$ -ого источника шума, а  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Звуковое давление нескольких источников  $N$  суммируется по следующей формуле:

$$N = 20 \lg \frac{(p_1 + p_2 + \dots + p_n)}{p_0},$$

где  $N$  – суммарный уровень звукового давления;  $p_1, p_2, p_n$  – эффективное звуковое давление для каждого значения  $N_1, N_2 \dots N_n$ .

Таблица Б2. Звуковое давление источников шума

№	Источник шума	Уровень шума, дБ	Звуковое давление, Па
1	Компрессор	61	0,224
2	Насос	68	0,502

Вычисляем общий уровень шума:

$$N = 20 \lg \frac{(p_1 + p_2 + \dots + p_n)}{p_0} = 20 \lg \frac{(0,224 + 0,502)}{2 \cdot 10^{-4}} = 71,2 \text{ дБ.}$$

По полученным расчетам можно смело заключить, что уровень шума является допустимым.



## Заключение

					ФЮРА.ХХХХХХХ.001.ПЗ	Лист
						89
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

## Список используемых источников

1. Дементьев Б.А. Ядерные энергетические реакторы. Москва Энергоатомиздат, 1990.344 с.
2. Рассохин Н. Г. Парогенераторные установки атомных электростанций: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – «Энергоатомиздат», 1987. 384 с.: ил.
3. Кирилов П. Л. Справочник по теплогидравлическим расчетам. «Энергоатомиздат», 1990. – 360 с.
4. Барановский Н. В., Коваленко Л. М., Ястребенецкий А. Р. Пластинчатые и спиральные теплообменники. М.; «Машиностроение», 1973,288 с.
5. Калинин Э. К. Интенсификация теплообмена в каналах / Э. К. Калинин, Г. А. Дрейцер, С. А. Ярхо. – 3-е изд., перераб и доп. – М.: «Машиностроение», 1990. – 208 с.
6. Сергейчик С. И. Планирование и анализ технико-экономических показателей АТЭЦ: Метод. указ. по вып. курс. работы. – Томск: ТПУ,1997. – 16 с.
7. Волошенко А.В. Горбунов Д.Б. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования. Томск: Изд. ТПУ, 2007 – 109 с.
8. Лаптев А. Г., Н. А. Николаев, М. М. Башаров. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов. Учебносправочное пособие. – М.: «Теплотехник», 2011. – 335 с.
9. СанПиН 2.2.4.3359-16 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности»;
- 10.ГОСТ 12.1.029–80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Классификация»;
- 11.ГОСТ 12.4.011-75 ССБТ. «Средства защиты работающих. Классификация»;
- 12.ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования»;
- 13.СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»;
- 14.СанПиН 2.2.4.3359-16 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»;
- 15.СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение»;
- 16.ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»;
- 17.ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»;
- 18.НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- 19.ГОСТ 12.1.033-81 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Термины и определения»;

- 20.СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;
- 21.ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»;
- 22.«Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 03.07.2016).;
- 23.Правила устройства электроустановок: Приказ Минэнерго России от 08.07.2002 № 204;
- 24.СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;
- 25.ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.
- 26.Классификация помещений по опасности поражения электрическим током:  
Охрана труда в машиностроении
- 27.ГОСТ 22269-76 Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования

